



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

# ANALÝZA VLIVU AKTIVNÍCH BEZPEČNOSTNÍCH PRVKŮ VOZIDEL NA OCHRANU CHODCŮ PŘI POSUZOVÁNÍ SILNIČNÍCH NEHOD

ANALYSIS OF IMPACT OF ACTIVE SAFETY ELEMENTS IN VEHICLES ON PEDESTRIAN  
PROTECTION FOR TRAFFIC ACCIDENT INVESTIGATION

**TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE**

PH.D. THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Ing. PETER VERTAĽ

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ VÉMOLA, Ph.D.

**STUDIJNÍ PROGRAM**

**STUDIJNÍ OBOR**

P3917 Soudní inženýrství

3917V001 Soudní inženýrství

BRNO 2015



## Abstrakt

Zvýšit pravděpodobnost zabránění dopravní nehody instalací autonomních systémů do vozidla je současným trendem v oblasti aktivní bezpečnosti vozidel se zaměřením na bezpečnost chodců. Práce se zabývá vyhodnocením zásahu aktivního bezpečnostního systému na rozpoznávání chodců montovaného v sériové produkci. Přínos samotných aktivních bezpečnostních systémů na zabránění dopravní nehody může být dosažen například včasným varováním vodiče před možnou kolíznou situací s dostatečnou časovou rezervou na reakci a následný manéver (brzdění, vybočení,...). K vyhodnocení zásahu aktivních bezpečnostních systémů, které si kladou za cíl zabránit dopravní nehodě s chodcem je potřebné experimentálně vyhodnotit chování těchto systémů. Hlavním cílem této práce je otestování vybraného systému na základě reálných, ale typově odlišných dopravních nehod. V současnosti nejsou pro znalce a odborníky v oblasti řešení dopravních nehod veřejně přístupná data o chování takovýchto systémů. Práce si klade za cíl vyhodnotit chování systému od společnosti Volvo při navození reálných dopravních situací. K evaluaci tohoto systému slouží precizně analyzované smrtelné dopravní nehody s chodcem v intravilánu (rychlost pohybu vozidla do 60 km/h). Simulované dopravní jevy pokrývají svým charakterem nejčastěji kritické dopravní situace. Touto prací získá znalecká obec a odborníci, kteří se zabývají řešením dopravních nehod cenná data pro řešení takovýchto dopravních nehod. Na základě těchto měření získá znalec více vstupních dat při analýze srážky vozidla s chodcem. Základem pro pochopení chování těchto systémů jsou vytvořené grafy závislosti dráhy, rychlosti a času v klíčových momentech před srážkou. Mezi tyto momenty patří vstup chodce do jízdního koridoru vozidla, reakce systému na kolíznou situaci, varování vodiče a následně autonomní brzdění aktivního bezpečnostního systému.

## Abstract

Increase the probability of prevent road accidents by installing autonomous systems in a vehicles is the current trend in the field of active safety with a focus on pedestrian safety. The work deals with the evaluation of intervention of active safety system for pedestrian detection assembled in series production. Benefit of active safety systems to prevent road accidents can be achieved, for example, early warning driver of a potential collision situation sufficiently in advance to reaction and post-maneuver (braking, yaw, ..). The evaluation of the intervention of active safety systems, which aim to prevent an accident with a pedestrian is necessary to experimentally evaluate the behaviour of these systems. The main objective of this work is to test the selected system based on different types of real accidents. At the time of the measurements and present, are not for experts and specialists in the field of road traffic accidents publicly accessible data about the behaviour of such a system. The work aims to evaluate the behaviour of the Volvo system in inducing real traffic situations. For the evaluation of this system are precisely analyzed fatal traffic accidents with pedestrians in the urban area (speed of vehicles up to 60 km/h). Simulated traffic situations by their nature cover the most common critical situations in urban traffic. Expert community and the professionals who deal with the solution of traffic accidents receive this work valuable data to deal with such accidents. Based on these measurements give more expert input data to solve a collision with a pedestrian. The basis for understanding the behaviour are created graphs of distance, speed and time at a key moment of the collision. These key moments include entry a pedestrians to driving corridor of the vehicle, system's response to conflict situations, warn the driver and then autonomously brake active safety system

### **Klíčové slova:**

nehoda s chodcem, aktivní bezpečnostní systém, Volvo City Safety, autonomní brzdový asistent

### **Keywords:**

pedestrian accident, active safety system, Volvo City Safety, autonomous brake assistant

## Bibliografická citácia

VERTAL, P. Analýza vlivu aktivních bezpečnostních prvků vozidel na ochranu chodců při posuzování silničních nehod. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2015. 190 s, 60 s příloh. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.

# OBSAH

<b>1. ÚVOD</b>	<b>3</b>
1.1 Vymedzenie problémovej situácie.....	3
<b>2. PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU</b>	<b>4</b>
<b>3. VYMEDZENIE PROBLÉMOV</b>	<b>5</b>
<b>4. METÓDA RIEŠENIA PRÁCE</b>	<b>6</b>
<b>5. CIELE PRÁCE</b>	<b>8</b>
<b>6. VÝBER REÁLNYCH SMRTELNÝCH DOPRAVNÝCH NEHÔD OSOBNÉHO MOTOROVÉHO VOZIDLA S CHODCOM</b>	<b>8</b>
6.1 Kolidujúce vozidlá a ich poškodenie v prípadových štúdiách.....	9
6.2 Vodič vozidla zúčastneného na dopravnej nehode .....	10
6.3 Chodci zúčastnení na dopravnej nehode v prípadových štúdiách.....	11
<b>7. REKONŠTRUKCIA REÁLNYCH FATÁLNYCH DOPRAVNÝCH NEHÔD</b>	<b>11</b>
7.1 Rozbor prípadových štúdií.....	11
7.1.1 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.1 .....	12
<b>8. VÝVOJ EXPERIMENTÁLNEJ FIGURÍNA CHODCA</b>	<b>15</b>
8.1 Odrazové vlastnosti figuríny v čelnom pohľade.....	16
8.2 Odrazové vlastnosti figuríny v bočnom pohľade.....	16
8.3 Odrazové vlastnosti figuríny vzdanom pohľade .....	16
<b>9. EXPERIMENTÁLNE MERANIA VYBRANÝCH DOPRAVNÝCH SITUÁCIÍ S VOZIDLOM OSADENÝM AKTÍVNYM BEZPEČNOSTNÝM SYSTÉMOM NA ROZPOZNÁVANIE CHODCOV</b>	<b>17</b>
9.1 Schéma meraní .....	18
9.1.1 Použitá záznamová technika .....	19
9.2 Meranie a spracovanie výsledkov.....	19
9.2.1 Príklad rozboru prípadovej štúdie .....	20
<b>10. ANALÝZA MOMENTU AKTIVÁCIE VAROVNEJ AKUSTICKO-VIZUÁLNEJ SIGNALIZÁCIE SYSTÉMU A MOMENTU ZAČIATKU AUTONÓMNEHO BRZDENIA VOZIDLA</b>	<b>22</b>
<b>11. VPLYV ZÁSAHU AUTONÓMNEHO BRZDENIA VOZIDLA NA PRIEBEH NEHODOVÉHO DEJA</b>	<b>26</b>
11.1 Vyhodnotenia aktivácie alarmu vo vozidle .....	26
11.2 Vyhodnotenie zníženia rýchlosti vplyvom autonómneho brzdenia vozidla .....	30
<b>12. METÓDA VYHODNOTENIA EXPERIMENTÁLNEHO RIEŠENIA DOPRAVNÝCH NEHÔD S CHODCAMI PRE VOZIDLA OSADENÉ AKTÍVNYM BEZPEČNOSTNÝM SYSTÉMOM NA ROZPOZNÁVANIE CHODCOV</b>	<b>31</b>
<b>13. ZÁVER</b>	<b>33</b>
<b>14. LITERATÚRA</b>	<b>36</b>

# 1. Úvod

Novodobé aktívne bezpečnostné systémy v sériovej produkcii si kladú za cieľ zvýšiť bezpečnosť cestnej dopravy. Medzi najzraniteľnejších účastníkov cestnej premávky patria chodci v intraviláne. Pomocou aktívnych bezpečnostných systémov je možné včasným zásahom systému upozorniť vodiča na možnú kritickú kolíziu situáciu.

## 1.1 Vymedzenie problémovej situácie

V súčasnosti najpoužívanjšie aktívne bezpečnostné systémy vo vozidlách sú osadené mono kamerou. Mono kamery sa používajú prevažne v skupinách aktívnych asistenčných systémov ako je udržiavanie vozidla v jazdnom pruhu, aktívny tempomat, rozpoznávanie značiek, núdzové brzdenie vozidla a ďalšie. Mono kamera sa najčastejšie používa v kombinácii s radarom alebo lidarom. Radar alebo lidar dokáže v milisekundách určiť vzdialenosť k objektom, ktoré sa nachádzajú v priestore pred vozidlom. Po vyhodnotení vzdialenosti k objektom je pomocou kamery nasnímaný priestor pred vozidlom a dochádza k algoritmickej a následnému vyhodnoteniu o aký objekt sa jedná – človek, zviera, auto a iné. Najmodernejšie aktívne bezpečnostné systémy používajú vo vozidlách stereo kamery. Stereo kamera dokáže aj bez prítomnosti radaru alebo lidar vyhodnocovať kritické dopravné situácie pred vozidlom (použitie u vozidiel Subaru). Väčšina novodobých prémiových OEM spoločností používa pre aktívne bezpečnostné systémy stereo kamery v kombinácii s radarom či lidarom. Systém s využitím stereo kamery bol vyvinutý za účelom ďalšieho zvýšenia bezpečnosti a zníženia rizík spojených s cestnou dopravou. Silnou stránkou novodobých systémov zahrňujúcich stereo kamery je, že vyhodnocovací modul dokáže zo zaznamenaného obrazu detekovať trojdimenzionálnu štruktúru okolitej scény, tvar, veľkosť, a hlavne rýchlosť a smer pohybu objektu s veľkou presnosťou. Základným princípom stereofónnej zhody je triangulácia. Keď je v rovnakom čase objekt snímaný dvoma kamerami z rozdielnej pozície, objekt sa objaví na rozdielnych miestach na snímkach. To znamená, že čím väčší je rozdiel na snímkach, tým menšia je vzdialenosť objektu od kamery. Preto je vzdialenosť získaná porovnávacou metódou. Podľa typu objektu dochádza následne k varovaniu vodiča alebo k autonómnej reakcii vozidla. S nárastom aktívnych bezpečnostných systémov vo vozidlách narastá neznalosť určenia exaktného chovania vozidla v priebehu nehodového deja. Znalci alebo experti budú v blízkej budúcnosti riešiť dopravné nehody, na ktorých sa podieľali práve vozidlá s aktívnymi bezpečnostnými systémami. Pri zásahu aktívnych bezpečnostných systémov s plne autonómnym chovaním pri brzdení v kritickej situácii naráža znalec alebo expert na problém zohľadňujúci vplyv tohto systému na priebeh dopravnej nehody. V súčasnosti chýbajú najmä informácie o čase a vzdialenosti vozidla pred chodcom kedy dochádza k aktivácii systému, varovaniu a následnému autonómnemu brzdeniu. Súčasná európska legislatíva neprikazuje výrobcovi motorových vozidiel sprístupniť po dopravnej nehode pamäť s posledným záznamom o zásahu aktívneho bezpečnostného systému do riadenia vozidla. Cieľom predných európskych vedecko-výskumných organizácií v oblasti dopravných nehôd je urobiť legislatívne kroky práve pre to, aby bolo pre výrobcov nutné sprístupňovať základné nehodové dáta.

Z hľadiska analýzy dopravných nehôd je potrebné predmetné systémy skúmať. Skúmaním sa získajú potrebné informácie o tom, ako predmetné systémy fungujú pri dopravných nehodách vozidiel s chodcami. Systém je potrebné skúmať na základe reálnych nehodových situácií. Reálne nehodové scenáre by mali priebehom nehodového deja pokrývať väčšinu možných dejových línií. Najdôležitejším prvkom pri meraní aktivácie systému na rozpoznávanie chodcov je samotná figurína reprezentujúca chodca. Pre účely rekonštrukcie dopravných nehôd je možné samotný pohyb chodca simulovať figurínou. Figurína chodca musí prejsť pred experimentálnym meraním evaluačným procesom. Proces evaluácie zaručuje dosiahnutie požadovaných reflexných vlastností figuríny zhodných ako má ľudské telo. Reflexné vlastnosti figuríny pre short-range 24 GHz radar musia odpovedať reflexným vlastnostiam ľudského tela, aby nedošlo k zámene figuríny za objekt nezodpovedajúci ľudskému telu. Pre navodenie pohybu figuríny v koridore vozidla je možné použiť plošinu nazývanú „UFO –ultraflat overrunalbe robot“. Autonómna plošina má zabudovaný D-GPS modul na orientovanie sa v priestore a je poháňaná dvoma servomotormi. Samotná synchronizácia pohybu figuríny môže prebiehať pomocou D\_GPS pozície vozidla a plošiny v čase. Jednou z alternatív je možnosť synchronizovať tento pohyb pomocou svetelných brán. Pri vytvorených simulovaných dejoch budú sledované reakcie aktívneho bezpečnostného systému vo vozidle.

## 2. Prehľad súčasného stavu

Stabilita vozidla je jedným zo základných prvkov aktívnej bezpečnosti vozidla. Elektronický stabilizačný systém (ESC) spolu s ABS je jedným z aktívnych bezpečnostných prvkov vozidiel, ktoré zabráňujú strate kontroly nad vozidlom pri pretáčavom alebo nedotáčavom šmyku. ESC patrí svojim významom k jedným z najdôležitejších prvkov ochrany vozidla pred vznikom kolíznej situácie. Inštalácia ESC je od roku 2012 povinná v Austrálii, Európe a USA. Je predpokladané, že ESC môže zabrániť až 10 000 usmrtení ročne v USA a približne 4 000 usmrtením spôsobeným dopravnou nehodou v Európe. Global NCAP vyvíja snahu o presadenie 100 % aplikácie ESC v novo vyrobených vozidlách od roku 2020. Podľa National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) je výskyt vozidiel s ESC pri nehodách, v dôsledku straty stability vozidla nižší o 35 % v porovnaní s vozidlami bez tohto systému. [23] Konštrukcia a možnosti ESC dosiahli technologického limitu a je možné očakávať len nepatrné zlepšenia v budúcnosti. [5]

V posledných rokoch boli vyvinuté mnohé asistenčné systémy na zvýšenie komfortu a bezpečnosti jazdy. Slabinou bežnej kamery zabudovanej vo vozidle je, že so zhoršujúcim sa počasím a tmou sa znižuje výkon správneho vyhodnotenia štatútu objektu. Vplyv počasia na radar nemá žiadny majoritný dôsledok na jeho funkciu. Prioritnou stránkou radaru je rozpoznávať vzdialenosť objektu od vozidla. Rozpoznávať objekt tvarovo a veľkostne pomocou radaru je možné len na veľmi malú vzdialenosť a priamo pred vozidlom. Možnosťou by bola kombinácia dvoch radarov rovnakej frekvencie, ale cenová hladina systému je príliš vysoká.

- Lidar je optické meracie zariadenie, ktoré lokalizuje a meria vzdialenosť objektov v priestore. V princípe je systém podobný ako 24 alebo 77 GHz radar, ale miesto mikrovln meria dobu odrazu laserového lúča. Laserový lúč sa pohybuje vo vzduchu rýchlosťou svetla cca 300 000 km/s. Proces sa opakuje až s frekvenciou viac ako 100 Hz. Na základe doby vyslaného lúča a prijatého odrazu od objektu následne vyhodnocuje systém vzdialenosť objektu. Pri zhoršených poveternostných podmienkach dochádza k útlmu lúča v dôsledku odrazu lúča od kvapôčiek vody v atmosfére. Tieto odrazy môžu spôsobiť až saturáciu radaru a jeho úplnú nefunkčnosť. Merací rozsah lidar je od 0,1 m do 150 m. [26]
- Mono kamery sa používajú prevažne v aktívnych asistenčných systémoch ako je udržiavanie vozidla v jazdnom pruhu, aktívny tempomat, rozpoznávanie značiek a núdzové brzdenie. Kamera sa najčastejšie používa v kombinácii s radarom alebo lidarom. Po rozpoznaní objektu a jeho vzdialenosti radarom je pomocou kamery algoritmicky vyhodnotený, o aký objekt sa jedná. Systém obsahujúci kombináciu radaru a kamery môže následne autonómne vyhodnocovať cestnú premávku a v prípade potreby brzdiť bez zásahu vodiča. Algoritmus výpočtu zahrňuje preddefinovaný postoj kráčajúcej osoby, ktorý je porovnávaný s objektom zaznamenaným z kamery. Mono kamera však nedokáže objekt trakovať, t.j. predvídať smer a rýchlosť pohybu objektu ako stereo kamera. [28]
- Stereo kamera spoločne s radarom boli vyvinuté za účelom zvýšenia bezpečnosti a zníženia rizík spojených s cestnou premávkou. Už v roku 2003 predstavila spoločnosť Subaru prvý komerčný systém stereo kamery s radarom na udržiavanie bezpečného odstupu vozidla pri použití ACC (Adaptive Control Cruiser). [29] Silnou stránkou novodobých systémov zahrňujúcich stereo kamery je, že riadiaca jednotka dokáže zo zaznamenaného obrazu detekovať trojdimenzionálnu štruktúru okolitej scény, tvar, veľkosť, rýchlosť a smer pohybu objektu s veľkou presnosťou. Základným princípom stereofónnej zhody je triangulácia. Keď je v rovnakom čase objekt snímaný dvoma kamerami z rozdielnej pozície, objekt sa objaví na rozdielnych miestach na snímkach. To znamená, že čím väčší je rozdiel na snímkach, tým menšia je vzdialenosť objektu od kamery. Preto je vzdialenosť získaná porovnávacou metódou. Pri radari je vzdialenosť presne meraná na základe odrazu mikrovlnných vln. Následným spracovaním obrazu je možné previesť 3D podobu obrazu do 2D karteziánskej sústavy. Počiatok súradnicových sústav je v tomto prípade centrován na vozidlo. Je zrejme, že neistota stereofónneho merania hĺbky obrazu rastie kvadraticky a z tohto dôvodu je cyklista značne rozmazaný v súradnicovom systéme. Brzdné spomalenie vozidiel pri dopravných nehodách.

Asistenčné systémy vo vozidle zlepšujú v priebehu riadenia jazdný komfort a nepriamo tak napomáhajú zlepšiť bezpečnosť cestnej premávky. Vo všeobecnosti je prioritným opatrením na zníženie vážnosti zranenia alebo smrti spôsobenej v dôsledku zrážky zníženie nárazovej rýchlosti vozidla. So vzrastajúcou rýchlosťou rastie brzdná dráha s druhou mocninou rýchlosti. Rýchlosť jazdy vozidla je ovplyvnená vodičom a jediným parametrom, ktorý je možné kontrolovať s ohľadom na brzdnú dráhu vozidla je jeho spomalenie. Spomalenie vozidla je závislé na poveternostných podmienkach, pneumatikách, adhézii a v neposlednej rade na tom, akú maximálnu silu vyvinie vodič na brzdový pedál.

Pre maximálne využitie brzdného účinku pre dané poveternostné podmienky boli vyvinuté tri asistenčné brzdné systémy – brzdný asistent, brzdný asistent + a autonómny brzdný asistent. [32]

- **Brzdný asistent** – brzdný asistent vyhodnocuje kritickosť situácie na základe rýchlosti stlačenia brzdového pedála a následne dokáže využiť plný brzdný potenciál brzdného systému. Systém nezahrňuje informácie z radaru alebo kamery, ktoré by mali pozitívny účinok na skrátenie reakčného času, respektíve odozvy systému na podnet vodiča brzdiť. V priebehu reakčnej doby a samotného stlačenia brzdového pedálu nedochádza k nárastu brzdného účinku. Po odozve systému nastáva nárast tlaku v brzdnom okruhu, kde je zrejmy prínos brzdného asistenta, ktorý zabezpečí maximálny možný tlak v danej situácii, ktorá bola vyhodnotená ako kritická. [32]
- **Brzdný asistent +** - asistent pracuje v kooperácii s radarom. Samotný radar nedokáže exaktne vyhodnotiť závažnosť situácie a o aký objekt sa jedná, ale dokáže na daný objekt upozorniť a predpripraviť brzdný systém na zrýchlenú reakciu. Bežná reakčná doba vodiča je 0,8 s [31], ale elektronické bezpečnostné systémy dokážu reagovať na kritickú situáciu nesústreďeného vodiča skôr. Signál spracovaný z radaru dáva okamžitý príkaz pre brzdný systém k predplneniu okruhu tlakového vedenia. Od tohto momentu začne zároveň systém automaticky upozorňovať zvukovým a svetelným signálom, že v jazdnom koridore vozidla sú prekážky. Zvukový signál a svetelná signalizácia je znamením pre vodiča, ktorý sa plne nevenuje riadeniu. V momente, keď vodič uvoľňuje akceleračný pedál a premiestňuje nohu na brzdový pedál dochádza automaticky k brzdeniu do výšky cca 4 m/s<sup>2</sup>, keďže systém už bol predpripravený z prvej fázy. Na konci stlačenia brzdového pedála je systém schopný brzdiť behom zlomku časového intervalu plným brzdným spomalením. [32]
- **Autonómne brzdenie** – na rozdiel od prvých dvoch prípadov brzdných asistenčných systémov je autonómny systém plne nezávislý na reakcii vodiča. Systém vyhodnocuje situáciu pred vozidlom na základe radaru, ale taktiež kamery. Kamera dokáže jasne určiť, aký objekt sa nachádza v jazdnom koridore vozidla a následne vyhodnocuje jeho pohyb a možné riziko potenciálnej zrážky. Po rozpoznaní objektu pomocou radaru dochádza k vyhodnoteniu danej situácie kamerou a neodkladnému autonómnemu brzdieniu v časovom intervale kratšom ako 0,8 s. [32]

Autonómne brzdenie nezávislé na vodičovi môže zvýšiť potenciálnu redukciu závažnosti zranenia chodca vplyvom zrážky s vozidlom. Odhadovaný pozitívny efekt na fatálne dopravné nehody je približne 47 % a 27 % na vážne zranenia spôsobené zrážkou chodca s vozidlom. Pri kombinácii dizajnových vylepšení masky vozidla, aktívnej kapoty s U-airbagom a autonómného brzdienia by mal kompletný integrovaný systém zabrániť zraneniam hlavy AIS 3+ vo viac ako 64 % prípadoch dopravnej nehody chodca s vozidlom. [33]

### 3. Vymedzenie problémov

S nárastom aktívnych bezpečnostných systémov narastá neznalosť určenia exaktného chovania vozidla v priebehu nehodového deja. Z analýzy súčasného stavu vyplynulo, že súčasne aktívne bezpečnostné systémy na ochranu chodcov sú zamerané najmä na mestskú prevádzku, preto je predmetný problém potrebné overiť v súčasnej dobe práve na mestskú prevádzku za denných podmienok. Znalec alebo expert, ktorý rieši dopravnú nehodu, na ktorej sa podieľa vozidlo s plne autonómnym chovaním pri brzdení v kritickej situácii, naráža na problém zohľadňujúci vplyv tohto systému na priebeh dopravnej nehody z dôvodu, že ani znalci nemajú dostatok informácií o chovaní autonómných brzdných systémov.

1. V súčasnej dobe sa vo vozidle nachádzajú prvky aktívnej bezpečnosti, ktorých súčinnosťou dôjde po vyhodnotení kritickej dopravnej situácie k autonómnemu zásahu vozidla do riadenia. Pri samotnom zásahu vozidla do riadenia v kritických situáciách s chodcami dochádza najmä k autonómnemu brzdeniu vozidla, ktoré možno popísať troma typmi riešeniami systémov:
  - i. Brzdový asistent vyhodnocuje kritickosť situácie na základe rýchlosti stlačenia brzdového pedála a následne dokáže využiť plný brzdový potenciál brzdového systému
  - ii. Asistent pracuje v kooperácii s radarom. Samotný radar nedokáže exaktne vyhodnotiť závažnosť situácie a o aký objekt sa jedná, ale dokáže na daný objekt upozorniť a predpripraviť brzdový systém na zrýchlenú reakciu (predplnenie tlaku v brzdovom okruhu a vymedzenie vôle medzi brzdovým kotúčom a doštičkami)
  - iii. Na rozdiel od prvých dvoch prípadov brzdových asistenčných systémov je autonómny systém plne nezávislý na chovaní a reakcii vodiča. Po rozpoznaní objektu pomocou radaru dochádza k vyhodnoteniu danej situácie kamerou a neodkladnému autonómnemu brzdeniu v časovom intervale kratšom ako 0,8 s.

V dôsledku implementácie týchto aktívnych bezpečnostných systémov, ktorých činnosť nebola doposiaľ popísaná a skúmaná, dochádza medzi odbornou verejnosťou ku nedostatku informácií o celkovom chovaní autonómnych brzdových systémov.

Z pohľadu znalca alebo experta je možné uviesť tieto problémy:

- a. Ako ovplyvňujú poveternostné podmienky činnosť systému.
  - b. V akých rýchlostiach dokáže systém aktívne zasiahnuť a zabrániť, či znížiť riziko vzniku dopravnej nehody.
  - c. Na aký typ a smer pohybu chodca vie systém reagovať.
  - d. Akým spôsobom a v akom časovom intervale pred samotnou kolíznou situáciou systém varuje vodiča.
  - e. S akým brzdovým spomalením vozidla je možné uvažovať pri analýze nehodového deja vozidla, ak vozidlo brzdilo autonómne.
2. Druhý problém súvisí so samotným chodcom. Pri analýze dopravnej nehody a prípadnej rekonštrukcii takejto nehody nie je možné použiť v kritických situáciách na vstup do dráhy vozidla človeka. Pre tieto situácie je potrebné nahradiť figurínou človeka. Tento problém je zásadným problémom pri riešení takejto nehody. Samotná figurína musí zodpovedať fyzikálnymi vlastnosťami a tvarom do čo najväčšej miery človeku, aby bolo možné exaktne vyhodnotiť priebeh dopravnej nehody. Použitie nesprávnej figuríny môže pri znaleckom bádání viesť k nesprávnym výsledkom pri riešení takýchto nehôd.
  3. Tretí problém je, že znalec či expert nemá dostatok informácií popísaných vyššie a je pre neho veľmi zložitá začať s prvotnou analýzou a spracovaním riešenej dopravnej nehody. Pre správne vyhodnotenie a analýzu dopravnej nehody s účasťou vozidla so zabudovaným aktívnym bezpečnostným systémom na ochranu chodcov je potrebné vykonať s predmetným vozidlom experiment. To neplatí, ak má znalec prístup už k vykonanej štúdii, ktorá by popisovala chovanie systému v predmetnom vozidle danej značky. Doposiaľ znalec takéto informácie nemôže nikde nájsť a komplexný popis funkcie systému je známy len pre výrobcov systému a automobilky. Z analýzy súčasného stavu vyplynulo, že doteraz boli vykonané len laboratórne merania, respektíve merania štandardizované normou. Pre znalca, či experta je ale dôležitá metóda, akou by mohol riešiť predmetný problém dopravnej nehody vozidla osadeného aktívnym bezpečnostným systémom na rozpoznanie chodca.

#### **4. Metóda riešenia práce**

Z vyššie formulovaných problémov bolo možné definovať čiastkové metódy riešenia práce. Body metódy riešenia práce smerujú k tomu, aby došlo k rozšíreniu znalosti znalcov a expertov. Toto je možné dosiahnuť rozsiahlym prieskumom chovania dnes najvyskytovanejšieho autonómneho brzdového systému v osobných vozidlách Volvo. Nasledujúce kroky povedú k naplneniu cieľov tejto práce:



## 1. Návrh experimentu

- a. Vyhľadávanie reálnych smrteľných nehôd osobných motorových vozidiel s chodcami v intraviláne.
- b. Analýza priebehu reálnych smrteľných nehôd osobných motorových vozidiel s chodcami v intraviláne.
- c. Zovšeobecnenie priebehu reálnych smrteľných nehôd osobných motorových vozidiel s chodcami v intraviláne do typických dopravných situácií
- d. Návrh typických dopravných situácií, ktoré budú použité pri experimentálnom overovaní vybraného aktívneho bezpečnostného systému

## 2. Meracia sústava - za meráciu sústavu možno v tejto práci považovať sústavu vozidlo – figurína

- a. **Vozidlo** - výber vhodného osobného motorového vozidla, ktoré spĺňa nasledujúce podmienky:
  - i. sériová produkcia vozidla
  - ii. dostupne na českom a slovenskom trhu
  - iii. vybavené aktívnym bezpečnostným systémom na rozpoznávanie chodcov
- b. **Figurína** - zistenie dostupnosti figuríny chodca vhodnej na testovanie aktívnych bezpečnostných systémov, v prípade finančnej nedostupnosti vytvorenie figuríny. Vytvorenie figuríny musí spĺňať nasledovné požiadavky:
  - i. tvarovo a proporcionálne zodpovedajúca dospeléj osobe
  - ii. odrazové vlastnosti figuríny pre 24 GHz radar zhodne s ľudskou postavou

## 3. Spôsob riadenia aktivácie

- a. Riadenie pohybu vozidla - vozidlo riadené poučeným vodičom
- b. Riadenie pohybu figuríny - figurína umiestnená na pohybujúcej sa plošine
- c. Synchronizácia sústavy je možná dvomi spôsobmi:
  - i. synchronizácia pohybu vozidla a plošiny je zabezpečená pomocou bezdrôtovej komunikácie na základe informácií D\_GPS signálov o pozícii vozidla a plošiny
  - ii. synchronizácia pohybu vozidla a plošiny je zabezpečená pomocou bezdrôtovej komunikácie na základe informácií zo svetelnej brány

## 4. Meranie veličín - veličiny pri meraní je možné rozdeliť na aktivačné a prejavové. Všetko, čo sa okolo nás deje, má prevažne „príčinný charakter“. Pre každý objekt (vozidlo) je charakteristické, že má určité okolie, tvar a že v okolí zaujíma určitú polohu. S okolím má určité väzby, cez ktoré objekt aktivuje a ovplyvňuje. Aktivácia objektu v ňom vyvolá procesy, ktoré menia jeho stav.

- a. Aktivačné veličiny - jednotlivá, na danej rozlišovacej úrovni zistiteľná interakcia, ktorá je orientovaná z okolia na objekt a ktorá na ňom alebo v ňom vyvolá procesy. Procesy sú vyvolané aktiváciami a ovplyvnením a teda človekom a prírodou.
  - i. Človek (figurína) vyvoláva aktiváciu objektu tým, že v cestnej premávke vytvorí pre objekt dopravnú situáciu, ktorá vytvára riziko zrážky
  - ii. Príroda ovplyvňuje procesy v objekte tým, že na objekt pôsobí vonkajšími vplyvmi (poveternostné podmienky, stav komunikácie, a iné..)
- b. Prejavové veličiny - do tejto skupiny patria veličiny vyjadrujúce prejavy (chovanie) objektu, ktoré zodpovedá stavom, do ktorých sa objekt dostal tak, že na objekte prebehli určité procesy. Prejavy v predmetnom prípade môžu byť:
  - i. Varovanie vodiča – zvuková signalizácia
  - ii. Varovanie vodiča – vizuálna signalizácia
  - iii. Autonómny zásah systému do jazdy vozidla – brzdenie (čiastočné, plné)
  - iv. Autonómny zásah systému do jazdy vozidla – vyhýbanie

## 5. Realizácia praktického experimentu, Reálny experiment – je sústava cieľavedomých a cieľavedomých riadených činností a prostriedkov k ich realizácii, ktoré vykonáva subjekt na aktivovanom reálnom objekte, s cieľom získať objektivizované informácie a jeho prejavy. V našom prípade to všetko na základe priameho merania a priameho pozorovania na objekte. Toto potom slúži ako podklad pri riešení určitého problému na tomto objekte.

- a. Miesto realizácie – ako miesto realizácie experimentu je zvolené prírodné prostredie. Predmetný experiment nie je z technických možností možné vykonávať v prevádzkových podmienkach vozidla – intravilán.

- b. Spôsob využitia experimentu možno definovať ako konkretizačný, pri ktorom sú získavané vstupné údaje pre následnú analýzu dopravných nehôd.
- c. Experiment možno považovať na základe spôsobu riadenia za simulačný. Pri takomto experimente je charakteristické, že aktivácie objektu sa realizujú podľa dopredu stanovenej stratégie zadávania vstupných dát.

#### 6. Spracovanie výsledkov

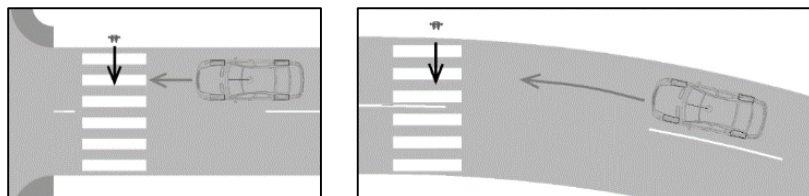
- a. Z hĺbkovej analýzy dynamiky vozidla bude vyhodnotená rýchlosť vozidla, vzdialenosť a časový interval od aktivácie varovného signálu upozorňujúceho vodiča pred možnou zrážkou s chodcom, po moment dosiahnutia koridoru pohybu chodca.
- b. Z hĺbkovej analýzy dynamiky vozidla bude vyhodnotená rýchlosť vozidla, vzdialenosť a časový interval od aktivácie autonomného brzdenia po moment dosiahnutia koridoru pohybu chodca.

### 5. Ciele práce

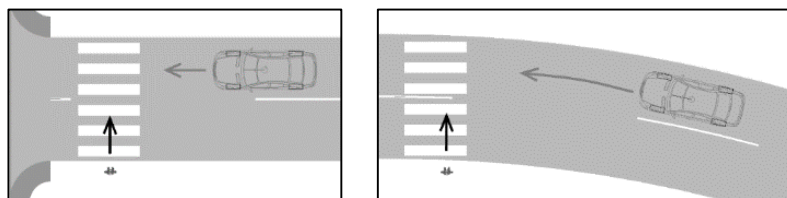
- 1) Navrhnuť metódu experimentálneho overovania aktívnych bezpečnostných systémov na rozpoznávanie chodcov, ktorá umožní overenie systému v reálnych dopravných situáciách a základnú figurínu dospelé osoby na testovanie aktívnych bezpečnostných systémov na rozpoznávanie chodcov. Figurína musí byť svojimi reflexnými vlastnosťami pre radar podobná ľudskému telu.
- 2) Vykonať experimentálne meranie jedného vybraného systému. Na základe marení získať znalosti o chovaní systému a vyhodnotiť jeho funkčnosť, silné a slabé stránky.
- 3) Analyzovať závislosť rýchlosti pohybu vozidla na aktivácii systému a autonómneho zásahu do riadenia.

### 6. Výber reálnych smrteľných dopravných nehôd osobného motorového vozidla s chodcom

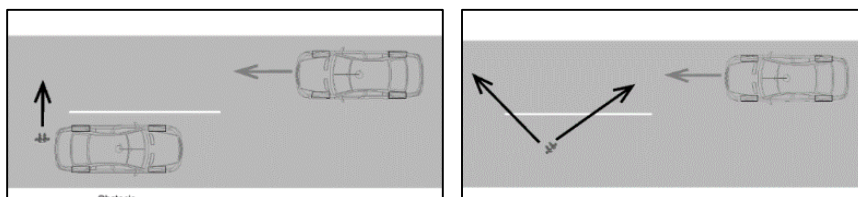
Na komplexné otestovanie aktívneho bezpečnostného systému na rozpoznávanie chodcov v krízových situáciách bolo potrebné pri výbere dopravných nehôd zvoliť nehody, ktoré by svojim charakterom a priebehom pohybu vozidla a chodca pokrývali celú škálu situácií pri dopravných nehodách. Pre potreby tejto dizertačnej práce bolo zvolených celkom 6 typov dopravných nehôd (pozri Obr. 1 až Obr. 3.)



Obr. 1 Jazda vozidla v priamom smere alebo v oblúku a vstup chodca do vozovky sprava. [60]



Obr. 2 Jazda vozidla v priamom smere alebo v oblúku a vstup chodca do vozovky zľava. [60]



Obr. 3 Priamy smer jazdy vozidla a vstup chodca do vozovky z poza objektu, v diagonálnom smere alebo chodec stojaci na okraji vozovky. [60]

Pri výbere reprezentatívnej vzorky dopravných nehôd bola použitá národná rakúska databáza ZEDATU. Databáza obsahovala približne 3 500 smrteľných dopravných nehôd. Z tohto celku bolo približne 300 dopravných nehôd, kde bol účastníkom dopravnej nehody chodec. Po komplexnej skúmaní nehôd bolo z tohto celku vybratých 18 štúdií, ktoré obsahovali komplexnú technickú dokumentáciu potrebnú k hĺbkovej analýze dopravnej nehody (plán miesta dopravnej nehody, fotografie, zdravotné správy o poraneniach, výpovede účastníkov, TP, a iné...). V Tab. 1 je vyobrazený komplexný prehľad všetkých prípadových štúdií. Tabuľka je zameraná na popis miesta dopravnej nehody. Prípadové štúdie 13-18 sa odohrali v období za znížených svetlených podmienok (súmrak až úplná tma). V 65 % prípadoch sa dopravná nehoda odohrala mimo oblasť križovatky. U celkovo 100 % prípadov bol povrch vozovky asfaltový a nevykazoval známky porušenia asfaltového povrchu. Následne je v Tab. 1 dôsledne rozpísané, či sa v zornom poli vodiča nachádzala prekážka, či v predmetnom úseku vozovky bolo vodorovné značenie, či sa jednalo o priechod pre chodcov a či pred samotným miestom zrážky bola značka priechod pre chodcov, či predmetný priechod bol osadený semaforom a či v oblasti MDN bolo funkčne pouličné osvetlenie. (ozn. 0- nie, 1- áno, x- nezistené)

Štúdia č.	Čas nehody [hod]	Rýchlostný limit [km/h]	Križovatka	Vozovka	Povrch vozovky	Stav oblohy	Prekážka v zornom poli vodiča	Vodorovné značenie	Priechod ozn. značkou	Semafor	Pouličné osvetlenie
1	10:00	40	0	asfalt	mokro	polojasno	1	1	0	0	
2	18:30	50	0	asfalt	sucho	zamračené	0	1	0	0	
3	16:45	30	0	asfalt	sucho	polojasno	0	1	1	1	
4	12:50	50	1	asfalt	mokro	polojasno	1	1	0	0	
5	18:00	50	1	asfalt	sucho	polojasno	0	0	0	0	
6	15:45	50	0	asfalt	mokro	zamračené	0	1	1	1	
7	17:30	50	0	asfalt	sucho	jasno	0	0	0	0	
8	7:00	50	1	asfalt	mokro	zamračené	1	1	1	0	
9	9:00	50	1	asfalt	sucho	jasno	0	1	1	0	
10	15:15	90	0	asfalt	sucho	jasno	0	1	0	0	
11	15:45	50	1	asfalt	sucho	zamračené	0	1	1	0	
12	7:00	50	1	asfalt	sucho	jasno	0	1	1	1	
13	0:15	30	0	asfalt	mokro	dážď	0	0	0	0	0
14	17:15	50	0	asfalt	mokro	jasno	1	1	1	1	1
15	19:08	50	0	asfalt	sucho	jasno	0	1	0	0	0
16	23:00	50	0	asfalt	sucho	jasno	1	0	0	0	1
17	20:00	50	1	asfalt	mokro	dážď	1	1	1	0	1
18	17:45	50	1	asfalt	sucho	jasno	1	1	0	0	1

Tab. 1 Prehľad prípadových štúdií, miesto a podmienky ich výskytu.

## 6.1 Kolidujúce vozidlá a ich poškodenie v prípadových štúdiách

Komplexnosť prípadových štúdií je ďalej možné vidieť v Tab. 2, ktorá prehľadne popisuje vozidlo zúčastnené na dopravnej nehode. Z prehľadu je zrejmé, že ako značky vozidiel, tak aj samotný typ vozidla je od kategórie Super Mini Car (SMC) cez Small Family Car (SMC), Large family Car (LFC), Multi Purpose Vehycle (MPV) až po One Box Car. Vek vozidiel sa v celkovom priemere pohyboval okolo 12 rokov. Niektoré typy vozidiel prešli testovaciu procedúrou Euro NCAP zameranou na ochranu chodcov. Výsledok hodnotenia je zobrazený v stĺpci – ochrana chodcov. Pre samotné vyhodnocovanie analýzy priebehu dopravnej nehody boli dôležité najmä poškodenia karosérie a čelného skla zanechané po zrážke. Poškodenie karosérie je obodované číslami 0-10, kde 0-nárazník, 1-ľavý blatník, 2-kapota, 3-pravý blatník, 4-ľavé predné dvere, 5-čelné sklo, 6-ľavé zadné dvere, 7-strecha, 8-pravé zadné dvere, 9-iné, 10-podvozok. Samotné poškodenie čelného skla je rozdelené do 9 segmentov. Týchto 9 segmentov je vytvorených mriežkou 3x3 v oblasti čelného skla. Číslo 1 je v ľavom dolnom rohu pri pohľade na vozidlo a následne čísla postupujú zľava doprava vždy po riadkoch.

Štúdia č.	Značka	Typ	Rok registrácie	Ochrana chodcov	Výkon (kW)	Farba	Pohon	ABS	Znaky poškodenia na karosérii	Poškodenie čelného skla	Počet dverí
1	Opel	Astra	1999	1p	50	Biela	P	0	2,3	0	5
2	Citroen	AX	1990	x	37	Biela	P	0	5	5	5
3	Opel	Corsa	1990	1p	40	Černá	P	0	0,2	0	3
4	Peugeot	306	1994	1p	47	Zelená	P	x	0,2,4,5	5	5
5	Volvo	S70	1997	x	103	Zelená	P	1	3,4	0	4
6	VW	Multivan	1989	x	51	Hnedá	Z	0	0	0	4
7	BMW	3	1995	2p	66	Čierna	Z	1	0,2,5	2	4
8	Honda	Civic	1990	x	81	Čierna	P	x	0,1,2,5	1	3
9	VW	Sharan	2006	2p	85	Sivá	P	0	0	0	5
10	VW	70D	1993	x	57	Modrá	P	x	0,1,2	0	4
11	Mitshubishi	Pajero	1992	x	73	Zelená	P	1	0,2	0	5
12	Ford	Transit	1999	x	55	Biela	Z	1	2	0	4
13	Toyota	Avensis	2001	2p	81	Sivá	P	1	0,1,10	0	4
14	Mazda	Demio	1999	x	x	Modrá	P	x	0,2,3,5	3	5
15	Renault	Twingo	1993	2	40	Zelená	P	x	0,1,2,4,5,8	5	3
16	Opel	Corsa	2003	1p	51	Zelená	P	1	x	0	5
17	VW	Passat	1993	x	66	Modrá	P	0	0,1,5	1	5
18	VW	L70	2000	x	75	Biela	Z	1	0,1,2,5	2	4

Tab. 2 Prehľad prípadových štúdií, vozidlo a jeho poškodenie v dôsledku DN.

## 6.2 Vodič vozidla zúčastneného na dopravnej nehode

Z výberu prípadových štúdií, ktoré obsahovali všetky technické náležitosti pre analýzu dopravnej nehody vyplynulo, že vo všetkých prípadových štúdiách sa jednalo o vodiča muža. Vek vodiča motorového vozidla bol od 18 rokov do 61 rokov. Z výpovedí jednotlivých vodičov bolo možné predbežne zostaviť prehľad rýchlosti pohybu vozidla v čase zrážky. Samotný prehľad pohybu vozidla pred zrážkou bude v následných kapitolách porovnaný s výslednom analýzou dopravnej nehody. Cieľom bude porovnať objektivnosť výpovedí vodičov. Vodiči sa po prijazde policajných zložiek podrobili dychovej skúške na prítomnosť alkoholu. Z technickej dokumentácie vyplynulo, že žiadny vodič neriadil vozidlo pod vplyvom alkoholu. Niektoré z vozidiel boli vybavené airbagom vodiča. V dôsledku zrážky s chodcom nedošlo ani v jednom prípade k aktivácii samotného airbagu. (ozn. 0- nie, 1- áno, x- nezistené).

Štúdia č.	Pohlavie	Vek vodiča v dobe DN (roky)	Zamestnanie	Rýchlosť jazdy podľa vodiča [km/h]	Test na alkohol (mg/l)	Prítomnosť airbagu	Aktivácia airbagu
1	muž	39	úradník	20-25	0,00	1	0
2	muž	42	tel. technik	50	0,00	0	0
3	muž	54	dôchodca	10-15	0,00	0	0
4	muž	18	elektrikár	40-50	0,00	0	0
5	muž	59	dôchodca	25	0,00	0	x
6	muž	53	vedúci smeny	x	0,00	0	x
7	muž	23	pokladač	40-50	0,00	1	0
8	muž	21	elektrotechnik	50	0,00	x	x
9	muž	46	živnostník	15	0,00	1	0
10	muž	38	vodár	70	0,00	0	x
11	muž	61	mechanik	30	0,00	0	0
12	muž	53	elektrotechnik	x	0,00	0	x
13	muž	36	taxikár	30	0,00	1	0
14	muž	34	úradník	30-40	0,00	1	0
15	muž	19	časník	X	0,00	1	0
16	muž	41	živnostník	30-40	0,00	1	0
17	muž	20	študent	<45	0,00	1	0
18	muž	46	učiteľ	x	0,00	1	0

Tab. 3 Prehľad prípadových štúdií - vodič a aktivácia airbagu vo vozidle.

### 6.3 Chodci zúčastnení na dopravnej nehode v prípadových štúdiách

Z výberu prípadových štúdií dopravných nehôd vyplynulo, že vo viac ako 75 % prípadoch bol vek chodca nad 60 rokov. Rozloženie pohlavia chodcov v prípadových štúdiách je 50/50. Až na jednu prípadovú štúdiu obsahoval spisový materiál aj lekársku správu o poranení chodca. Z predmetného materiálu sa v niektorých prípadoch dala určiť výška chodca, jeho váha, ako aj oblečenie, v ktorom bol pacient dovezený a doba úmrtia po dopravnej nehode. Dôležitou informáciou okrem výšky a váhy chodca je pre samotnú analýzu priebehu dopravnej nehody smer pohybu chodca. Na základe výpovedí vodičov a svedkov bolo možné predbežne určiť smer pohybu chodcov v dobe dopravnej nehody. Pri samotnej analýze nehodového deja bude následne overené či predmetný pohyb odpovedá skutočnosti. V prípadových štúdiách, kedy osoba ležala vo vozovke bolo pri súdnolekárskej pitve zistené, že tieto osoby boli pod značným vplyvom alkoholu.

Štúdia č.	Pohlavie	Lekárska správa	Vek chodca	Práca	Výška [m]	Váha [kg]	Hladina alkoholu (mg/l)	Smer pohybu	Farba oblečenia				Doba smrti po nehode
									Hlava	Trup	Nohy	Chodidla	
1	žena	1	69	dôchodca	1,6	x	0	zľava	0	5	7	5	12D
2	žena	1	71	dôchodca	x	x	x	zľava	x	1	1	x	3D
3	žena	0	78	dôchodca	x	x	0	sprava	x	7	7	7	x
4	muž	1	96	dôchodca	1,75	77	x	zľava	x	x	x	x	10D
5	žena	1	89	dôchodca	x	x	0	sprava	x	6	x	x	10D
6	žena	1	84	dôchodca	x	x	x	sprava	1, 3	11	11	7	3H
7	muž	1	91	dôchodca	x	x	0	zľava	x	13	13	x	1H
8	muž	1	43	sekretárka	1,61	71	x	zľava	x	x	x	x	8D
9	žena	1	69	dôchodca	1,73	86	x	zľava	x	3	1	4	0H
10	muž	1	12	študent	1,48	45	0	Stojací	x	x	x	x	2D
11	muž	1	61	dôchodca	1,53	x	0	sprava	x	x	x	x	x
12	žena	1	45	nezam.	x	x	x	zľava	x	14	1	5	x
13	žena	1	62	doma	x	x	2,3	Ležec	x	11	1	6	0H
14	muž	1	81	dôchodca	1,83	x	0,95	Zľava	x	4	4	5	x
15	žena	1	77	dôchodca	1,76	80	0	zľava	x	7	7	x	x
16	muž	1	28	nezam.	x	x	x	zľava	x	x	x	x	1H
17	žena	1	92	dôchodca	1,46	58	x	zľava	x	13	7	x	3H
18	muž	1	84	dôchodca	1,74	79	0,02	zľava	x	x	x	x	0H

Tab. 4 Prehľad prípadových štúdií - popis chodca.

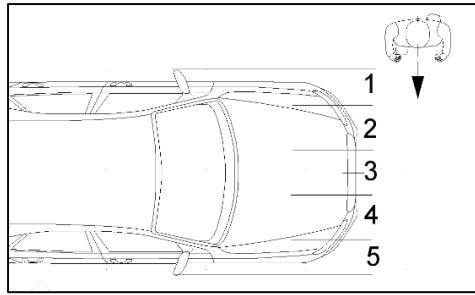
## 7. Rekonštrukcia reálnych fatálnych dopravných nehôd

Rekonštrukcia reálnych fatálnych dopravných nehôd, ktoré sa odohrali v intraviláne, prebiehala na najvyššom stupni vedeckého poznania a bádania. Pri samotnej rekonštrukcii dopravných nehôd bol využívaný simulačný program PC-Crash 10.0. Základný prehľad matematických modelov programu PC-Crash, ktoré slúžili na rekonštrukciu dopravných nehôd chodcov s vozidlami je popísaný v kapitole

### 7.1 Rozbor prípadových štúdií

Pre samotnú rekonštrukciu dopravných nehôd v programe PC-Crash bolo potrebné vhodné nastavenie samotného modelu chodca - multibody, ktorý svojím charakterom odpovedal fyziologickým vlastnostiam osoby zúčastnenej na dopravnej nehode. Základné informácie o polohe chodca v čase zrážky bolo možné čerpať mimo aj na základe lekárskeho správ (zranenia jednotlivých častí tela). Z Tab. 10 vyplynulo, že celkom v deviatich prípadových štúdiách bolo možné z lekárskeho správ zistiť výšku chodca. Celkom v šiestich prípadových štúdiách bolo možné zistiť aj váhu chodca.

K dôležitým prvkom pri rekonštrukcii dopravných nehôd bolo aj správne nastavenie technických parametrov vozidla, ktoré sa zúčastnilo na predmetnej dopravnej nehode. Technické údaje o vozidle bolo možné čerpať z technických preukazov doložených v spisovom materiály k predmetnej dopravnej nehode. Na základe výrobné značky vozidla, typu vozidla, technickej špecifikácii (váha vozidla, druh karosérie, typ motora,..) bolo z databáze programu PC-Crash volené vozidlo technický zhodné s technickým preukazom. Databáze programu PC-Crash umožňuje takúto voľbu vozidla. Definícia polohy chodca voči vozidlu pri zrážke je definovaná podľa Obr. 4.



Obr. 4 Definícia polohy chodca voči vozidlu pri zrážke. [61]

*Pri teoretickom odvodení základných rovníc boli použité popisy dráhy  $s$  [m], rýchlosti  $v$  [m/s] a času  $t$  [s]. V technicko-právnej problematike súdneho inžinierstva sa pri výpočtoch používajú najčastejšie jednotky dráhy - metre a jednotky času - sekundy. Vypočítaná rýchlosť sa následne vo väčšine prípadov uvádza z dôvodu právnych predpisov v km/h (zaokrúhlená na celé číslo pri rýchlosti pohybu vozidla, a na jedno desatiny miesto pri rýchlosti pohybu chodca). Vypočítaný čas je následne vo väčšine prípadov zaokrúhlený na jedno desatiny miesto. Technicky prijateľná odchýlka analyzovaných veličín je  $\pm 10\%$ .*

#### 7.1.1 Rozbor prípadovej štúdie číslo č.1

Z analýzy štúdie č. 1 vyplynulo, že vozidlo Opel Astra jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 23 km/h. Chodec vstúpil spoza nákladného vozidla kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 3,6 km/h. K zrážke vozidla s chodcom došlo v oblasti č.1 prednej časti vozidla. Vodič pred zrážkou nereagoval na pohyb chodca.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.2

Z analýzy štúdie č.2 vyplynulo, že vozidlo Citroen AX jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 47 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 3,6 km/h. K zrážke vozidla s chodcom došlo v oblasti č.3 prednej časti vozidla. Vodič reagoval cca 0,8 s pred zrážkou na pohyb chodca.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.3

Z analýzy štúdie č.3 vyplynulo, že vozidlo Opel Corsa jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 12 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z pravej strany rýchlosťou cca 4,2 km/h. K zrážke vozidla s chodcom došlo v oblasti č.2 prednej časti vozidla. Vodič nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.4

Z analýzy štúdie č.4 vyplynulo, že vozidlo Peugeot 306 jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 50 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany spoza vozidla Audi. Vodič vozidla Audi zaregistroval chodca, pribrzdil na rýchlosť cca 20 km/h a nechal priestor pre chodca, aby prešiel vozovku. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 4,2 km/h. K zrážke vozidla Peugeot 306 s chodcom došlo v oblasti č.4 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.5

Z analýzy štúdie č.5 vyplynulo, že vozidlo Volvo S60 jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 32 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 5,0 km/h. K zrážke vozidla Volvo S60 s chodcom došlo v oblasti č.1 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca a po zrážke začal reagovať cca 1,0 sekundy.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.6

Z analýzy štúdie č.6 vyplynulo, že vozidlo Volkswagen Multivan jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 30 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z pravej strany rýchlosťou cca 4,0 km/h. K zrážke vozidla Volkswagen Multivan s chodcom došlo v oblasti č.3

prednej časti vozidla. Vodič vozidla reagoval cca 1,5 s pred zrážkou na pohyb chodca a stihol vozidlo spomaliť na rýchlosť cca 19 km/h.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.7

Z analýzy štúdie č.7 vyplynulo, že vozidlo BMW 3 jazdilo pred zrážku v ľavotočivej zákrute cca 41 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z pravej strany rýchlosťou cca 4,2 km/h. K zrážke vozidla BMW 3 s chodcom došlo v oblasti č.3 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.8

Z analýzy štúdie č.8 vyplynulo, že vozidlo Honda Civic jazdilo pred zrážku priamo v ľavom jazdnom pruhu rýchlosťou cca 55 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany spoza stojaceho vozidla. Vozidlo Honda urobilo pred samotnou zrážkou priečne premiestnenie z ľavého jazdného pruhu do pravého. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 5,5 km/h. K zrážke vozidla Honda Civic s chodcom došlo v oblasti č.4 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.9

Z analýzy štúdie č.9 vyplynulo, že vozidlo VW Sharan jazdilo pred zrážku po kruhovom objazde rýchlosťou cca 18 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany. Vozidlo VW Sharan urobilo pred samotnou zrážkou vybočenie z kruhového objazdu doprava. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 4,0 km/h. K zrážke vozidla VW Sharan s chodcom došlo v oblasti č.5 prednej časti vozidla. Vodič vozidla reagoval cca 0,8 s pred zrážkou na pohyb chodca.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.10

Z analýzy štúdie č.10 vyplynulo, že vozidlo VW 70D jazdilo pred zrážku v priamom smere a znižovalo rýchlosť jazdy plynule z cca 70 km/h na cca 40 km/h. Chodec stál na pravom okraji vozovky v oblasti zastávky autobusu. K zrážke vozidla VW s chodcom došlo v oblasti č.1 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.11

Z analýzy štúdie č.11 vyplynulo, že vozidlo Mitsubishi jazdilo pred zrážku v priamom smere rýchlosťou cca 40 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 5,2 km/h. K zrážke vozidla Mitsubishi s chodcom došlo v oblasti č.2 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.12

Z analýzy štúdie č.12 vyplynulo, že vozidlo Ford Transit jazdilo pred zrážkou v križovatke, kde odbočovalo doľava. Vozidlo zrýchľovalo z 0 km/h na rýchlosť v čase zrážky cca 36 km/h. Chodec vstúpil kolmo do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 6,0 km/h. K zrážke vozidla Ford s chodcom došlo v oblasti č.2 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.13

Z analýzy štúdie č.13 vyplynulo, že vozidlo Toyota Avensis jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 45 km/h. Predmetná dopravná nehoda sa odohrala v noci, za úplnej tmy. Osoba ležala na vozovke nehybne. Kontakt osoby bol s podvozkovou časťou vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na osobu ležiacu na vozovke.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.14

Z analýzy štúdie č.14 vyplynulo, že vozidlo Mazda Demio jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 42 km/h. Predmetná dopravná nehoda sa odohrala v noci, za úplnej tmy. Chodec vstúpil do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany pod uhlom cca 30° k rovine kolmej na smer pohybu vozidla rýchlosťou cca 3,0 km/h. K zrážke vozidla Mazda s chodcom došlo v oblasti č.4 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.15

Z analýzy štúdie č.15 vyplynulo, že vozidlo Renault Twingo jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 46 km/h. Predmetná dopravná nehoda sa odohrala v noci, za úplnej tmy. Chodec vstúpil do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany pod uhlom cca 60° k rovine kolmej na smer pohybu vozidla rýchlosťou cca 4,0 km/h. K zrážke vozidla VW s chodcom došlo do oblasti č.5 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.16

Z analýzy štúdie č.16 vyplynulo, že vozidlo Opel Corsa jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 39 km/h. Predmetná dopravná nehoda sa odohrala v noci, za osvetlenia pouličným osvetlením. Chodec vstúpil do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany z rady stojacích osobných motorových vozidiel rýchlosťou cca 4,1 km/h. K zrážke vozidla Opel s chodcom došlo v oblasti č.1 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.17

Z analýzy štúdie č.17 vyplynulo, že vozidlo VW Passat jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 30 km/h. Predmetná dopravná nehoda sa odohrala v noci, za úplnej tmy. Chodec vstúpil do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany rýchlosťou cca 3,0 km/h. K zrážke vozidla Opel s chodcom došlo v oblasti č.5 prednej časti vozidla. Vodič vozidla reagoval cca 1,2s pred zrážkou na pohyb chodca.

#### Rozbor prípadovej štúdie číslo č.18

Z analýzy štúdie č.18 vyplynulo, že vozidlo VW Transporter jazdilo pred zrážkou v priamom smere rýchlosťou cca 47 km/h. Predmetná dopravná nehoda sa odohrala v noci, za úplnej tmy. Chodec vstúpil do jazdného koridoru vozidla z ľavej strany pod uhlom cca 15° k rovine kolmej na smer pohybu vozidla rýchlosťou cca 3,8 km/h. K zrážke vozidla VW s chodcom došlo v oblasti č.5 prednej časti vozidla. Vodič vozidla nereagoval pred zrážkou na pohyb chodca.

Kompletný prehľad prípadových štúdií a rýchlosti vozidiel v čase zrážky, ktoré vyplynuli z analýzy nehodových štúdií je zobrazený v Merania boli zamerané na stojaceho chodca, chodca v pohybe z pravej strany v smere jazdy vozidla, chodca v pohybe z ľavej strany v smere pohybu vozidla, taktiež diagonálny pohyb chodca cez vozovku a osoby ležiacej na zemi.

	Značka vozidla	Model	Rok registrácie	Nárazová rýchlosť [km/h]	Smer pohybu chodca
1	Opel	Astra	1999	23	→
2	Citroen	AX	1990	47	→
3	Opel	Corsa	1990	12	←
4	Peugeot	306	1994	50	→
5	Volvo	S70	1997	32	→
6	VW	Multivan	1989	19	←
7	BMW	3	1995	41	←
8	Honda	Civic	1990	55	→
9	VW	Sharan	2006	18	←
10	VW	70D	1993	39	0
11	Mitshubishi	Pajero	1992	32	←
12	Ford	transit	1999	36	→
13	Toyota	Avensis	2001	45	ležec
14	Mazda	Demio	1999	42	↘
15	Renault	Twingo	1993	46	↘
16	Opel	Corsa	2003	39	→
17	VW	Passat	1993	30	→
18	VW	Transporter	2000	47	↙

Tab. 5 Prehľad analyzovaných prípadových štúdií ako podklad pre experimentálne meranie.

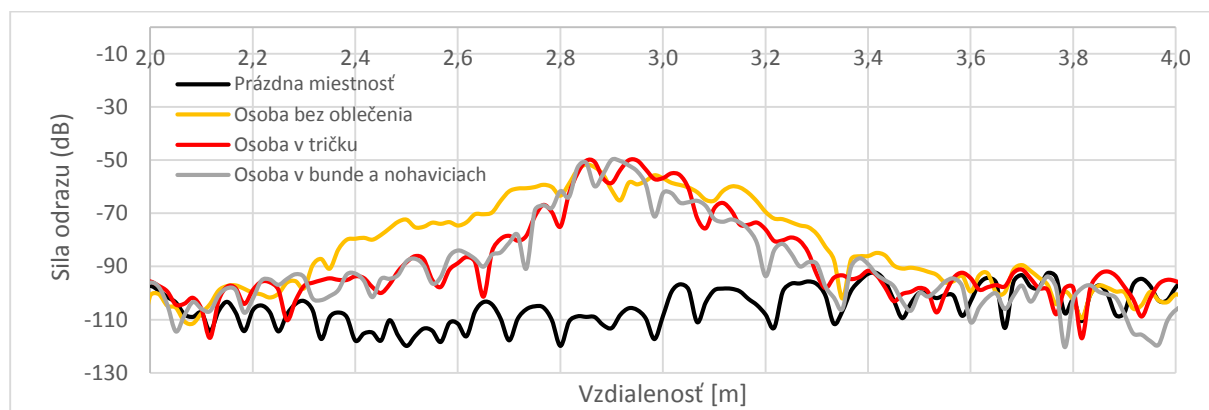


## 8. Vývoj experimentálnej figurína chodca

Najdôležitejším prvkom experimentálneho merania podmienok aktivácie systému na rozpoznávanie chodcov je samotná figurína reprezentujúca chodca. Pre účely tejto práce bol samotný pohyb chodca simulovaný figurínou umiestnenou na autonómnej plošine. Plošina nazývaná „UFO“ mala zabudovaný D-GPS modul na orientovanie sa v priestore a bola poháňaná dvoma servomotormi. Figurína chodca umiestnená na plošine musela prejsť evaluačným procesom. Proces evaluácie zaručoval dosiahnutie požadovaných reflexných vlastností figuríny zhodných ako má ľudské telo. Reflexné vlastnosti figuríny pre short-range 24 GHz radar museli odpovedať reflexným vlastnostiam ľudského tela, aby nedošlo k zámene figuríny za objekt nezodpovedajúci vlastnostiam ľudského tela. Následne by systém vyhodnocoval situáciu ako nie natoľko akútnu, aby aktívne zasahoval, keďže by sa bol pred vozidlom nachádzal „objekt“ a nie človek. Figurína chodca bola vyrobená z molitanu o celkovej váhe cca 5 kg a výške cca 176 cm. Drôtený skelet figuríny umožňoval nastavenie siluety zodpovedajúcej chodiacemu človeku.

K meraniu exaktných reflexných vlastností figuríny bolo za potrebné využiť laboratória technickej Univerzity v Gazi. Univerzitné laboratória disponovali anechoickou miestnosťou, ktorá slúžila výhradne na meranie odrazových vlastností objektov. Ako samotný zdroj radarových vln o dĺžke 24 GHz bol použitý typ Hewlett Packard K281C, ktorý bol pred samotným meraním kalibrovaný. Samotná kalibrácia spočívala v meraní rôznych známych impedancií. Ku kalibrácii bola použitá kalibračná sada Rohde&Schwarz ZV-Z32. Na zobrazovanie samotnej odozvy a výsledkov bola použitá vektorovo-obvodová analýza prístrojová technika Rohde&Schwarz ZVA 24. Tento postup vyhodnocuje dáta z budiča radarových vln a porovnáva ich na základe odozvy na známy signál. Z porovnaných dát vyplynie výsledný graf závislosti množstva odrazených vln.

Pre potreby tejto práce boli stanovené tri základné pozície figuríny, ktoré museli byť evaluované meraním k následnému použitiu. Pozícia stojacej osoby čelom k radarovému zdroju, bokom a pozícia stojacej osoby chrbtom k zdroju. Samotné pozície figuríny boli porovnávané s odrazovými vlastnosťami figuranta. V bežnom živote sa stretávame s rôznorodosťou dopravných situácií na základe poveternostných podmienok, ktoré panujú v mieste dopravných nehôd. Pre potreby tejto práce boli simulované len podmienky, ktoré vzniknú za suchého počasia, bez prítomnosti značnej vlhkosti na oblečení chodca, teda figuríny. Pri meraniach bolo nutné porovnať vlastnosti figuríny s človekom, ktorý je bez oblečenia, oblečený čiastočne a oblečený vo viacerých vrstvách, aby boli zohľadnené všetky možné podmienky sústavy chodec auto. Pri porovnávaní reflexných vlastností figuranta v závislosti na vrstve oblečenia bol figurant umiestnený vo vzdialenosti cca 2,7 +/- 0,2 m od zdroja radarových vln. V grafe (pozri Graf 1) je čiernou farbou znázornená závislosť odrazených vln v prázdnej anechoickej miestnosti. Hranica - 90 dB až -100 dB je považovaná za hranicu nulovú a teda prázdnu miestnosť.



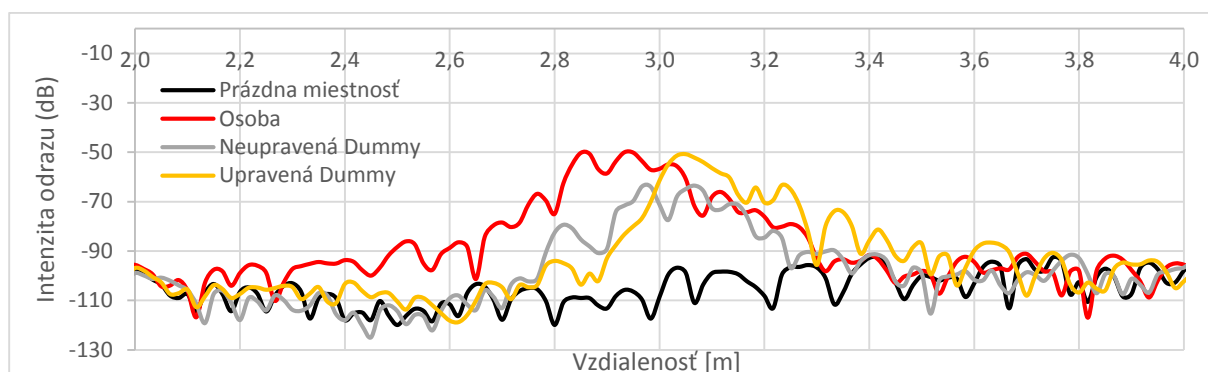
Graf 1 Intenzita odrazených vln v závislosti na oblečení figuranta.

Z grafu je zrejmé, že pri meraniach dochádza k značnej zhode v sile odrazových vlastností figuranta v rôznom stave oblečenia na úrovni cca 50 dB vo vzdialenosti cca 2,7 m +/- 0,2 m. Základným porovnávacím meraním závislosti oblečenia figuranta vyplynulo, že samotné oblečenie figuranta nemá zásadný vplyv na intenzitu odrazových vln. Pre potreby ďalších evaluačných meraní figuríny boli

jednotlivé pozície dummy porovnávané s výsledkom meraní figuranta, ktorý mal oblečene nohavice a tričko.

### 8.1 Odrazové vlastnosti figuríny v čelnom pohľade

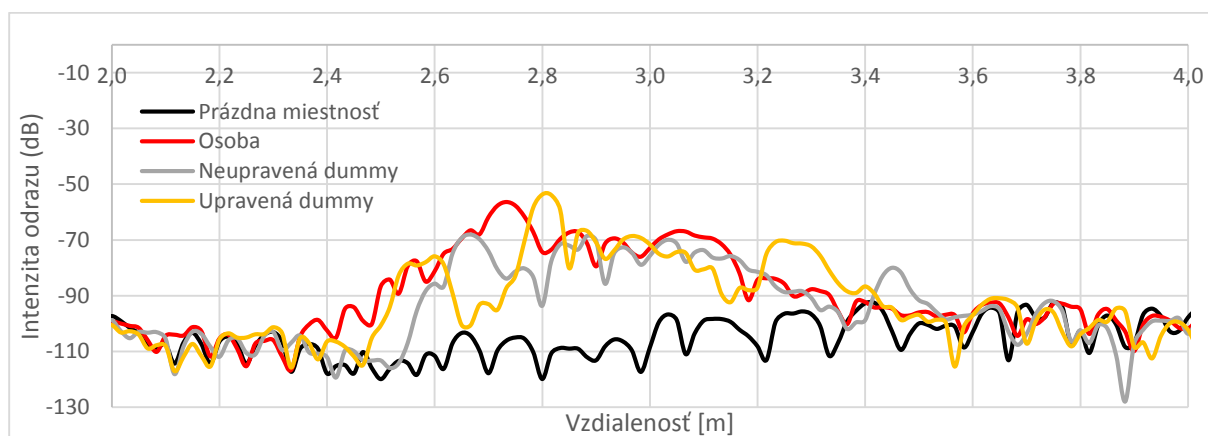
Pozícia figuríny pri meraní bola približne 3 m od zdroja radarových vln. Figurína mala oblečenú teplákovú súpravu a športovú obuv a mala mierne rozpažené ruky a nohy na šírku ramien. Graf (pozri Graf 2) znázorňuje porovnanie prázdnej anechoickej miestnosti, s figurantom, s figurínou pred úpravou a následne po úpravách. Z grafu je zrejmé, že samotná figurína bez úprav má cca o 15 dB nižšie hodnoty odrazových vlastností. Pri úpravách figuríny bolo dosiahnuté stotožnenie vlastností na úroveň ľudského tela. Hodnota cca 50 dB je v zhode s hodnotou figuranta.



Graf 2 Intenzita odrazených vln neupravenej a upravenej dummy figuríny v čelnom pohľade.

### 8.2 Odrazové vlastnosti figuríny v bočnom pohľade

Figurant oblečený v tričku a nohaviciach bol vzdialený približne 2,7 m od zdroja radarových vln, ľavú ruku mal zalomenú v lakti a pravú ruku mierne zapaženú. Nohy figuranta boli v polohe mierneho vykročenia. Pozícia figuríny bola približne 2,8 m od zdroja radarových vln. Figurína mala oblečenú teplákovú súpravu a športovú obuv. Graf (pozri Graf 3) znázorňuje porovnanie prázdnej anechoickej miestnosti, s figurantom, s figurínou pred úpravou a následne po úpravách. Z grafu je zrejmé, že samotná figurína bez úprav má cca o 15 dB nižšie hodnoty odrazových vlastností. Pri úpravách figuríny bolo dosiahnuté stotožnenie vlastností na úroveň ľudského tela. Hodnota cca 55 dB je v zhode pre figuranta a figurínu.

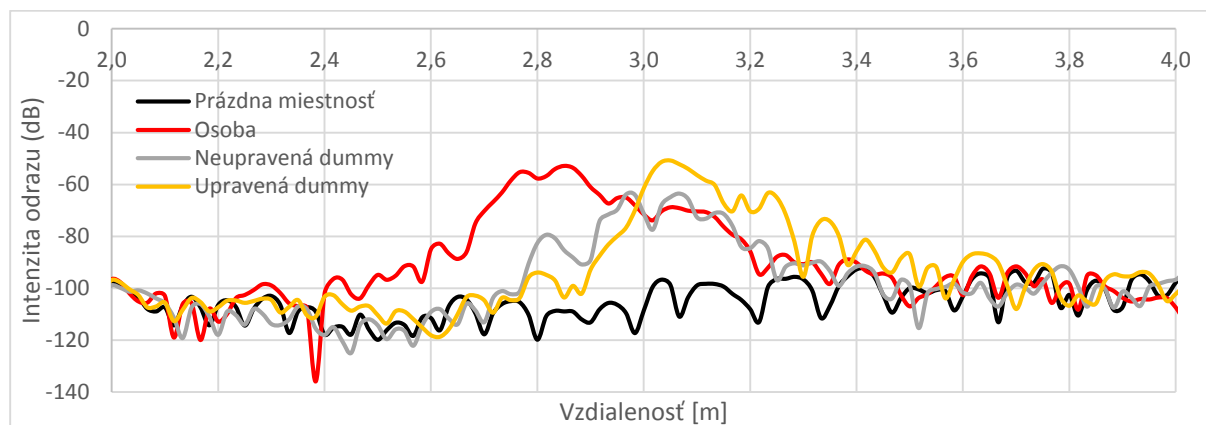


Graf 3 Intenzita odrazených vln neupravenej a upravenej dummy figuríny v bočnom pohľade.

### 8.3 Odrazové vlastnosti figuríny vzdanom pohľade

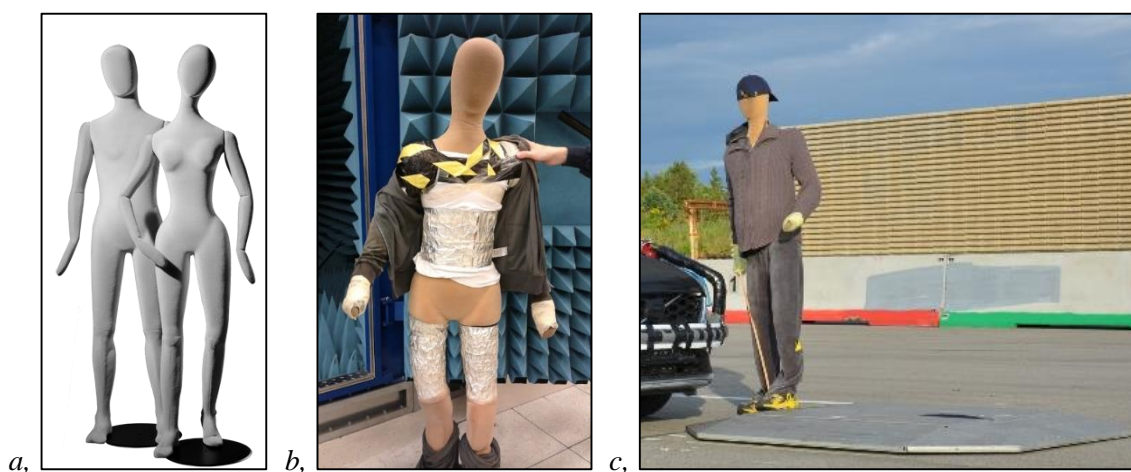
Figurant oblečený v tričku a nohaviciach bol vzdialený približne 2,8 m od zdroja radarových vln, mal mierne rozpažené ruky a nohy na šírku ramien. Pozícia figuríny bola približne 3 m od zdroja radarových vln. Figurína mala oblečenú teplákovú súpravu a športovú obuv, mala mierne rozpažené ruky a nohy na šírku ramien. Graf (pozri Graf 4) znázorňuje porovnanie prázdnej anechoickej miestnosti, s figurantom, s figurínou pred úpravou a následne po úpravách. Z grafu je zrejmé, že samotná figurína

bez úprav má cca o 10 dB nižšie hodnoty odrazových vlastností. Pri úpravách figuríny bolo dosiahnuté stotožnenie vlastností na úroveň ľudského tela. Hodnota 55 dB je v zhode pre figuranta a figurínu



Graf 4 Intenzita odrazených vln neupravenej a upravenej dummy figuríny v zadnom pohľade.

Po hĺbkovej analýze a merania vykonávaných a v anechoickej miestnosti bolo možné finalizovať podobu dummy figuríny. Pri jednotlivých pokusných meraniach dochádzalo k úprave figuríny pomocou samolepiacej hliníkovej pásky. Pri používaní hliníkovej pásky dochádzalo k zvyšovaniu a znižovaniu intenzity odrazených radarových vln. Po opakovaných meraniach, skúškach, úpravách dummy figuríny bolo možné vytvoriť figurínu, ktorá svojím charakterom intenzity odrazených radarových vln zodpovedala ľudskej postave. Táto figúra bola použitá pri experimentálnych meraniach s vozidlom Volvo. Na Obr. 5a je zobrazená figurína bez úprav a na obrázku Obr. 5b je zobrazená figurína s úpravami, ktoré vyplynuli z meraní.



Obr. 5 a, figurína bez úprav – sériový model b, figurína po úprave c, figurína použitá pri experimentálnych skúškach umiestnená na UFU. [60]

## 9. Experimentálne merania vybraných dopravných situácií s vozidlom osadeným aktívnym bezpečnostným systémom na rozpoznávanie chodcov

Merania prebiehali v uzatvorenom testovacom areáli firmy DSD v rakúskom Linzi. Keďže pri testovaní systému došlo zo strany vodiča k uvoľneniu všetkých ovládacích prvkov vozidla, bolo nutné zabezpečiť maximálnu bezpečnosť testov. Bezpečnostné zóny okolo spevneného povrchu a ochranný val zabezpečovali maximálnu ochranu pred prípadným nežiaducim chovaním vozidla. Na polygóne boli pre potreby predmetných meraní nakreslené potrebné vodorovné značenia jazdných pruhov a priechodu pre chodcov, pre čo najpresnejšie navodenie dejovej línie dopravných nehôd. Samotný pohyb chodca bol simulovaný figurínou umiestnenou na autonómnej programovateľnej plošine. Plošina nazývaná „UFO“ mala zabudovaný D-GPS modul na orientovanie sa v priestore a bola poháňaná dvoma servomotormi. Na plošine bola umiestnená figurína chodca, ktorá prešla evaluovacím procesom (pozri

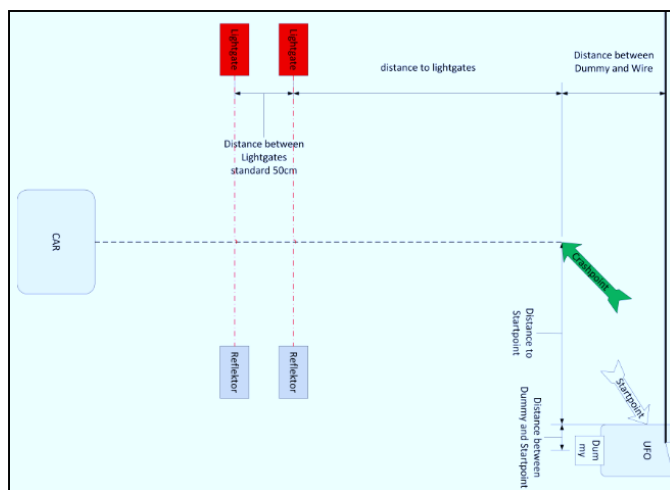
Obr. 5). K vykonaným testom bolo použité vozidlo Volvo V40 CC zapožičané od oficiálneho distribútora Volvo Cars Rakúsku. Vozidlo bolo vybavené zážihovým motorom o objeme 2,5 l a výkone 250 hp. Výkon motora bol prenášaný na všetky štyri kolesá vozidla. Vozidlo bolo osadené pneumatikami Pirelli P Zero 225/45 R18 95W. Testovacie vozidlo Volvo V40 CC bolo vybavené systémom City Safety rozšíreným o funkciu na detekciu chodcov.

Konštrukcia UFA pozostávala z nosného rámu a podvozku o rozmere 1,8 m x 1,8 m., riadiacej jednotky, akumulátora, D-GPS modulu, bezdrôtovej komunikačnej technológie. Zadná náprava UFA bola poháňaná dvoma servomotormi, ktoré umožňovali s Ufom jazdiť rýchlosťou viac ako 50 km/h. Maximálne dosiahnuteľné zrýchlenie UFA je  $3 \text{ m/s}^2$  a dokáže jazdiť nepretržite po dobu cca 20 minút pri plnom zaťažení a maximálnej rýchlosti. Pre potreby meraní bolo nutné zistiť či samotné UFO nedisponuje takými odrazovými vlastnosťami, že by pôsobilo dominantným dojmom pre radar vozidla. Ak by samotné UFO vytváralo svojimi odrazovými vlastnosťami dominantnejší objekt ako figurína, nemuselo by byť vyhodnocovanie aktivácie aktívneho bezpečnostného systému správne. Preto bolo nutné v laboratórnych podmienkach overiť do akej miery je UFO viditeľné pre radar. Z meraní vyplynulo, že nemôže tak dôjsť k situácii, že vozidlo vyhodnotí kritickú dopravnú situáciu na základe výskytu UFA pred vozidlom. Hodnota odrazených vln na hranici  $-80 \text{ dB}$  je tak nízka, že je s určitosťou možné povedať, že UFO nemá vplyv na priebeh následných testov

### 9.1 Schéma meraní

Na základe reálne zrekonštruovaných smrteľných nehôd s chodcom bol zistený exaktný priebeh jednotlivých nehôd. Časová a priestorová závislosť pohybu vozidla a chodca bola následne simulovaná pri testoch s použitím vozidla Volvo V40 CC. Chodec bol umiestnený v pozícii, ktorá zodpovedala nehodovej situácii (pozícia UFO). Vo vypočítanej vzdialenosti pred miestom zrážky bola umiestnená svetelná brána (Light Gate), ktorá exaktne zmerala rýchlosť pohybu vozidla a následne prepočítala vhodný moment rozjazdu UFA a ustálenie rýchlosti pohybu na rýchlosť pohybu chodca z reálnej nehody. Týmto postupom mohlo dôjsť k rýchlej a presnej synchronizácii. Pri meraní bola zaručená opakovateľnosť testu pri testovaní predmetnej dopravnej situácie viacnásobným pokusom. Časová synchronizácia zaručovala priebeh testu exaktne ako pri reálnej dopravnej nehode.

Opakovateľnosť a presnosť meraní je dôležitým prvkom pri samotnom experimentálnom testovaní reálnych dopravných nehôd. Pre potreby overenia presnosti merania a opakovateľnosti pohybu UFA do miesta definovanej zrážky bolo vykonaných celkom 65 meraní. Merania pozostávali v opakovaných prejazdoch vozidla s rôznou rýchlosťou v oblasti definovaného miesta zrážky. Cieľom bolo vyhodnotiť ako odchýlka pričnej polohy dôjde oproti sledovanej pozícii. Pri meraniach boli brané v úvahu tri rôzne zrýchlenia UFA  $-0,5 \text{ m/s}^2$ ,  $1 \text{ m/s}^2$ ,  $1,5 \text{ m/s}^2$ . Z meraní presnosti pohybu UFA a opakovateľnosti testu vyplynulo, že celková odchýlka od preddefinovanej polohy crash pointu je v rozmedzí  $-50 \text{ mm}$  do  $+20 \text{ mm}$  prične v smere pohybu UFA. Odchýlka merania je dostatočne malá na to, aby pri následných experimentálnych meraniach dochádzalo k dosahovaniu požadovaných dejových línií zo skúmaných dopravných nehôd.

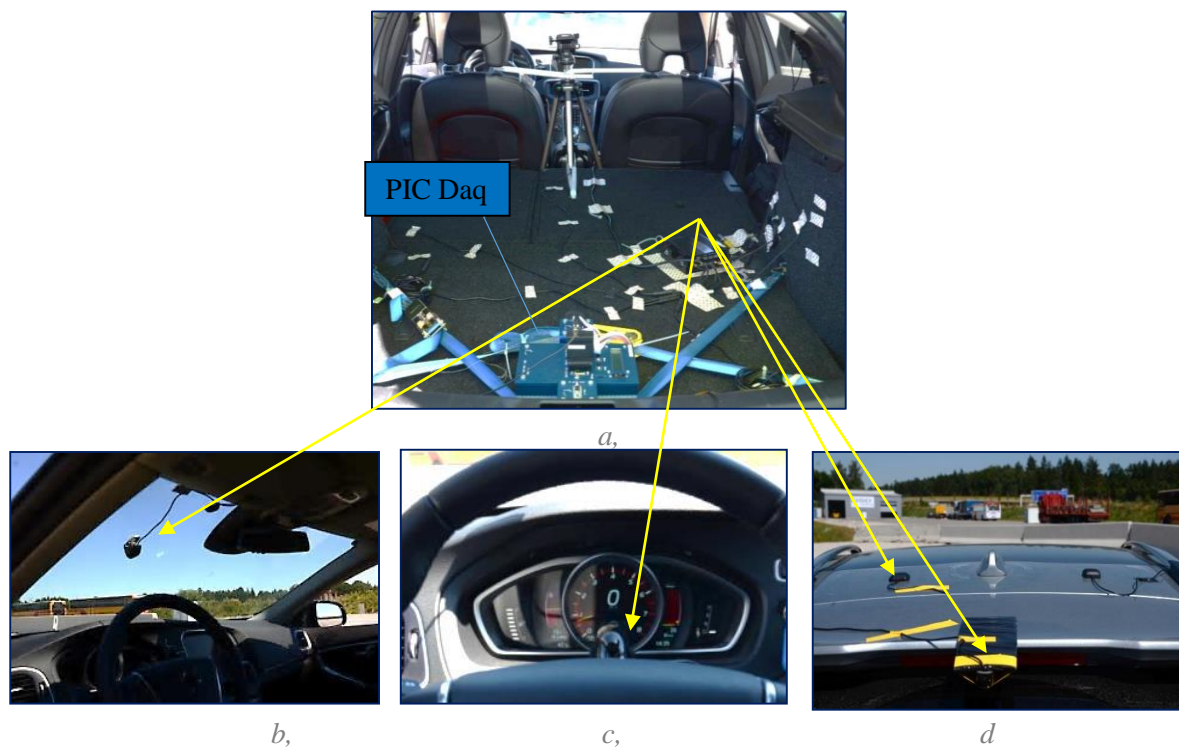


Obr. 6 Schéma rozostavenia svetelných brán a plošiny UFO. [60]



### 9.1.1 Použitá záznamová technika

Základom meraní bolo zadokumentovanie priebehu testovacieho deja z rôznych uhlov pohľadu pre spätnú video analýzu. K tomu slúžili dve vysokorýchlostné kamery Casio F1 v smere kolmom na pohyb vozidla a v smere pohybu vozidla. Na perspektívny pohľad na predmetné situácie slúžila bežná video kamera Canon. Vozidlo bolo osadené špeciálnou čiernou skrinkou, ktorá dokázala zaznamenávať záber v smere pohľadu vodiča, záber na displej pred vodičom, záber na brzdové svetlo a záber na vozovku. Kamera zaznamenávajúca pohľad na displej bola dôležitá z dôvodu spätnej rekonštrukcie deja a vyhodnotení hlášky systému k akému typu zásahu došlo a či bol rozpoznaný pohyb chodca pred vozidlom alebo nie. Kamera zaznamenávajúca pohľad na brzdové svetlo slúžila na určenie momentu, kedy systém začal brzdivý úkon a to bolo následne porovnávané s akcelerometrom. Cieľom bolo tiež vyhodnocovať v akom momente po začiatku autonómneho brzdenia došlo k rozsvieteniu brzdového svetla. Kamera nasmerovaná na vozovku slúžila na zdokumentovanie stupnice nakreslenej na vozovke. Videozáznam slúžil na koreláciu polohy v čase pred samotnou zrážkou. Čierna skrinka obsahovala aj modul GPS, ktorý slúžil na orientačné meranie rýchlosti vozidla. Vo vozidle bola taktiež nainštalovaná vysokorýchlostná kamera Casio umiestnená medzi sedadlom vodiča a spolujazdca. Súčasťou výbavy vozidla bol PIC Daq-systém na zaznamenávanie dynamiky vozidla. PIC Daq obsahoval troj-osi akcelerometer a gyroskop, čo umožnilo spätnú časovú analýzu dynamiky pohybu vozidla. Snímacia frekvencia pohybu vozidla bola 200 Hz. Zariadenie bolo umiestnené v zadnej časti vozidla v jeho pozdĺžnej osi pre dosiahnutie maximálnej presnosti meraných dát.



Obr. 7 a, pohľad na interiér vozidla Volvo a rozmiestnenie záznamovej techniky b, kamera v zornom poli vodiča c, kamera zaznamenávajúca displej d, kamera zaznamenávajúca brzdové svetlo. [60]

### 9.2 Meranie a spracovanie výsledkov

Merania pozostávali zo série testov založených na reálnych dopravných nehodách (pozri kap. 6). Na kompletné otestovanie aktívneho bezpečnostného systému bolo potrebné zvoliť nehody, aby svojim charakterom a priebehom pohybu vozidla a chodca pokrývali celú škálu situácií pri dopravných nehodách. Kompletný prehľad prípadových štúdií a rýchlosti vozidiel v čase zrážky, ktoré vyplynuli z analýzy nehodových štúdií je zobrazený v Tab. 5. Merania boli zamerané na stojaceho chodca, chodca v pohybe z pravej strany v smere jazdy vozidla, chodca v pohybe z ľavej strany v smere pohybu vozidla, taktiež diagonálny pohyb chodca cez vozovku a osoby ležiacej na zemi. Po uskutočnenom meraní bol každý prípad analyzovaný pomocou softvéru Adobe After Effect. Na základe video analýzy bolo

získované, v akom časovom momente pred kontaktom vozidla s chodcom došlo k prvotnému akustickému a vizuálnemu upozorneniu vodiča pred potencionálnou prekážkou v smere jazdy vozidla. Z meraní bolo zistené, že akustický signál je spustený vždy spoločne s vizuálnym varovaním. Vizuálne varovanie vodiča je sprevádzané prerušovaným svetelným alarmom, ktorý je umiestnený v oblasti medzi tachometrom a čelným sklom. Jedná sa o veľmi dobre viditeľné miesto z pohľadu vodiča. Samotná svetelná lišta má cca 15 centimetrov a jej veľkosť je postačujúca na upútanie pozornosti vodiča (pozri Obr. 8).



Obr. 8 Pohľad na rozsvietenú lištu alarmu a jej odraz v čelnom skle pri rozpoznaní chodca a následnom varovaní vodiča.[60]

S vozidlom bolo v prvotných meraniach vykonané testovanie na detekciu chodcov pri zapadajúcom slnku, respektíve pri slnku, ktoré je nízko nad horizontom a osľňuje tak vodiča a zároveň aj kameru. Pri meraniach bolo zistené, že v prípade polohy slnka v nízkej výške nad horizontom do  $15^\circ$  nedôjde k zníženiu funkčnosti systému pri jazde v smere slnečných lúčov  $\pm 30$  stupňov (merané rozpätie) od smeru jazdy vozidla. Pri nočných meraniach bez prítomnosti iného svetelného zdroja ako osvetlenia vozidla systém nedokáže rozpoznať a reagovať na chodca. Systém dokáže v noci rozpoznať chodca do rýchlosti cca 20 km/h a následne brzdiť. Tento manéver je systémom aktivovaný a vyhodnotený na základe prekážky (vozidlo) a nie na základe rozpoznania ľudskej postavy. Tento fakt bol podporený vyhláškou City Safety was activated, ktorá sa objavuje pri aktivácii systému na základe kritickej situácie pred vozidlom v dôsledku výskytu iného vozidla. Tento záver vyplýva z funkčnosti systému City Safety, ktorý je predurčený na jazdu vozidla v kolóne a pri nízkych rýchlostiach, kde systém reaguje na objekty alebo vozidla v jazdnom koridore vozidla a nie na chodcov. Pri pokusoch s ležiacou osobou nedošlo ani v jednom prípade k aktivácii systému. Ako to vyplýva aj z technického manuálu k vozidlu, systém reaguje na postavy, ktorých výška prevažuje 80 cm.

### 9.2.1 Príklad rozboru prípadovej štúdie

Po vykonaní samotného experimentálneho merania bolo potrebné pre následnú analýzu chovania sa vozidla spracovať video záznamy z kamier a záznam z meracieho zariadenia PIC Daq. Celkom bolo pri meraní použitých 8 kamier.

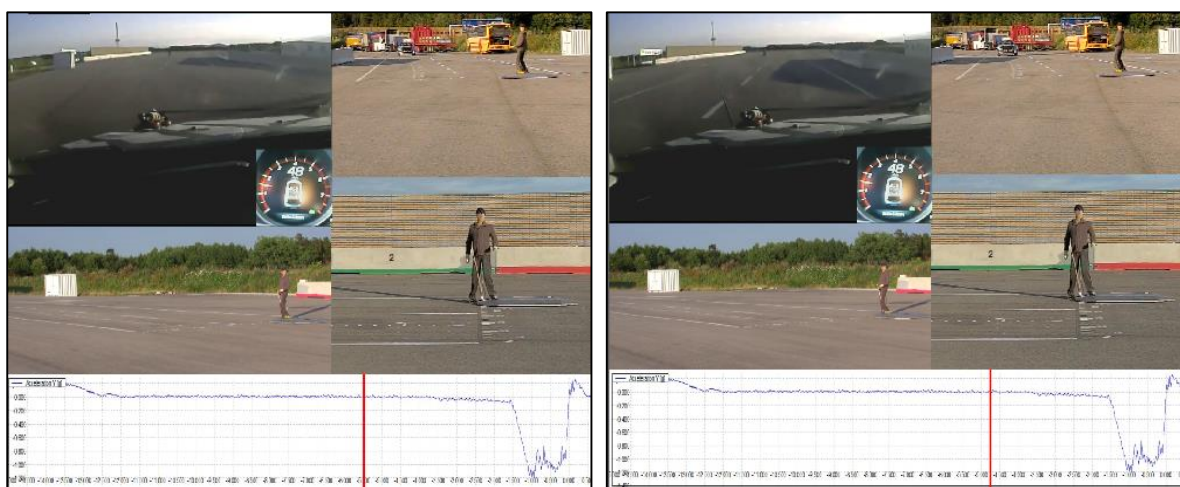


Obr. 9 Program na synchronizáciu a úpravu videí – Adobe After Effect. [60]

Kamera č. 1: Záber v zornom poli vodiča. Kamera č. 2: Priamy pohľad na smer jazdy vozidla Volvo. Kamera č. 3: Pohľad z oblasti medzi vodičom a spolujazdcom (High speed kamera). Kamera č. 4: Záber na displej tachometra. Kamera č. 5: Záber na brzdomé svetlo vozidla Volvo. Kamera č. 6: Perspektívny pohľad na oblasť miesta zrážky. Kamera č. 7: Kolmý pohľad na smer jazdy vozidla. Priamy pohľad na pohyb chodca. Kamera č. 8: Záber na vozovku. Kamera č. 9: Pribeh akceleračnej krivky v priebehu testu. .

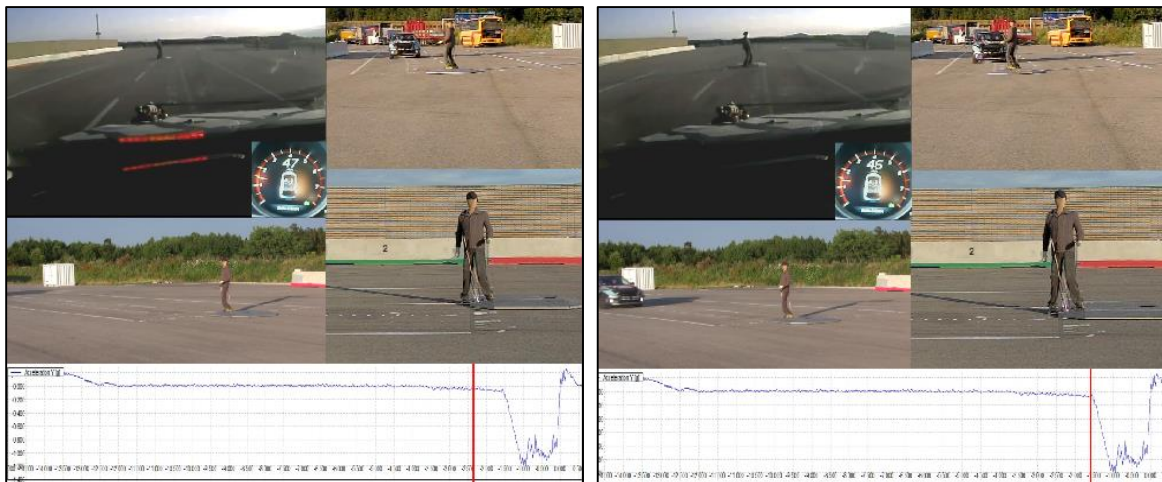
Videozáznam bol spracovaný pomocou programu Adobe After Effect, ktorý umožňoval synchronizáciu jednotlivých videí a prácu s nimi k dosiahnutiu čo najpresnejších výsledkov. V samotnej práci je priestor na rozbor všetkých prípadových štúdií, konkrétne v tejto kapitole sa budem venovať popisu len jedného testu ( test. č. 2). Pre rozbor tejto prípadovej štúdie boli použité zábery z kamier č. 1,2,4,6,7 a samotný priebeh akcelerácie. Krivka akcelerácie vyplývala z nameraných dát a následným spracovaním bola prevedená do video sekvencie, ktorá uľahčovala prácu pri vyhodnocovaní jednotlivých videí. Jednalo sa o vozidlo jazdiace v čase zrážky rýchlosťou cca 47 km/h. Do koridoru vozidla vstúpil z ľavej strany chodec pohybujúci sa rýchlosťou cca 4 km/h. Synchronizácia pohybu vozidla a chodca bola na základe presnej simulácie z programu PC-Crash 10.0. Vizualne zobrazenie priebehu jednej prípadovej štúdie č.2 je vyobrazené na Obr. 10 až Obr. 12.

1. Na Obr. 10a je zobrazený prejazd vozidla cez svetelnú bránu v čase 5 s a 70 m pred zrážkou s chodcom. Chodec v tomto okamihu ešte stojí. V momente prejazdu vozidla svetelnou bránou vyhodnocuje riadiaca jednotka UFA na základe aktuálnej rýchlosti vozidla Volvo správny moment na štart UFA (chodca).
2. Vozidlo sa pohybuje ďalej ustálenou rýchlosťou 47 km/h a v čase 4,3 s pred zrážkou s chodcom dochádza k rozjazdu UFA so zrýchlením  $1 \text{ m/s}^2$  (pozri Obr. 10b). Plne synchronizovaný a automatizovaný dej následne reprodukuje dejovú líniu zo skutočnej nehody.
3. V čase cca 2 s a 19 m pred koridorom pohybu chodca (pozri Obr. 11a) dochádza k akusticko-vizuálnemu varovaniu vodiča v momente, keď sa chodec nachádza vo vzdialenosti cca 0,7 m od koridoru pohybu vozidla Volvo jazdiaceho rýchlosťou cca 45 km/h. Vozidlo Volvo v tomto momente ešte autonómne nebrzdí.
4. Po uplynutí necelých 0,8 s od aktivácie alarmu dochádza k aktivácii autonómneho brzdenia vozidla vo vzdialenosti cca 13 m (pozri Obr. 11b). Vozidlo brzdí s priemerným spomalením cca  $10 \text{ m/s}^2$ . V priebehu aktivovaného autonómneho brzdenia vodič nezasahoval do riadenia vozidla. Brzdový pedál pri autonómnom brzdení poklesne k podlahe, ako tomu je pri normálnom brzdení.
5. Po cca 2 sekundách od prvej akustickej signalizácie dochádza k zrážke vozidla s chodcom. Rýchlosť v čase zrážky (pozri Obr. 12) bola cca 12 km/h oproti 48 km/h pri reálnej dopravnej nehode, pri ktorej vodič nestihol reagovať na chodca.



*a, b,*  
Obr. 10 a, Prejazd svetelnou bránou vozidlom Volvo. b, Rozjazd UFA. [60]

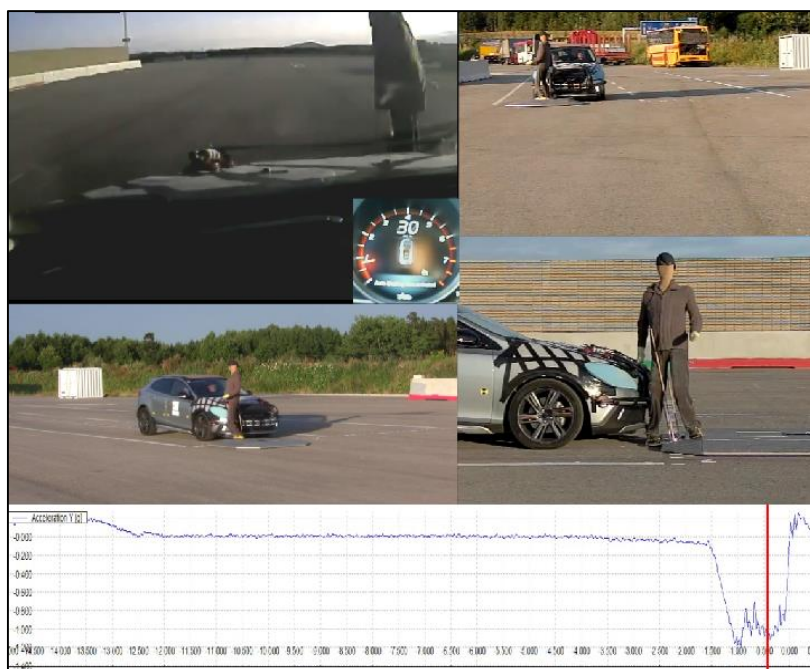




a,

b,

Obr. 11 a, Aktivácia alarmu vo vozidle Volvo. B, Počiatok autonómneho brzdenia vozidla Volvo. [60]



Obr. 12 Vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridoru pohybu chodca. [60]

Z priebehu testovanej štúdie môžeme jednoznačne popísať celkový nehodový dej v závislosti na čase a vzdialenosti vozidla od chodca. Ak by došlo k zrážke s chodcom (osoba vážiaca viac ako 15 kg), je dosť možné, že by po kontakte s osobou došlo k následnej aktivácii aktívnej kapoty. Tento úkon by zabezpečil zväčšenie svetlého priestoru medzi súčasťami v motorovom priestore a kapotou, čo by prispelo k zníženiu poranení chodca o tuhé časti. Je málo pravdepodobné a otázne, či by došlo k aktivácii airbagu pre chodca, keďže sa jednalo o rýchlosť jazdy vozidla len cca 12 km/h v čase zrážky s chodcom. Tieto tézy sú možným cieľom ďalších výskumných krokov, ktorým sa bude v budúcnosti venovať autor tejto práce.

## 10. Analýza momentu aktivácie varovnej akusticko-vizuálnej signalizácie systému a momentu začiatku autonómneho brzdenia vozidla

Celkom v 11 prípadových štúdiách systém aktívne upozornil vodiča na výskyt chodca a s ním spojené riziko zrážky. Komplexný rozbor priebehu 11 prípadových štúdií, v ktorých došlo k aktivácii akusticko-vizuálneho alarmu, bude riešený v tejto kapitole. Rýchlosti vozidiel sa môžu mierne líšiť (+/- 10%) od rýchlosti vozidla pri reálnej dopravnej nehode z dôvodu komplikovanosti celej dejovej línie.



Pri samotnom experimentálnom meraní bolo využívané vozidlo Volvo s automatickou prevodovkou, pri ktorej bolo ustáľovanie rýchlosti na tak krátkej dráhe zložitý.

Kamera, ktorá zaznamenávala video záznam v oblasti zorného poľa vodiča, plne zachytávala aj optický alarm vo vozidle. Z experimentálnych meraní vyplynulo, že v momente, kedy dôjde k varovaniu vodiča, sa prejaví zvukové a vizuálne varovanie v rovnakom čase. Medzi jednotlivými signálmi sa na prvý pohľad vodiča môže zdať, že zvuk prichádza o niečo neskôr, ale z analýzy video záznamu vyplynulo, že tomu tak nie je.

#### Prípadová štúdia č.2

V prípadovej štúdii č.2 jazdilo vozidlo Volvo v priamom smere ustálenou rýchlosťou cca 45 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval smerom kolmo sa smer pohybu vozidla. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 4,0 km/h. V momente aktivácie varovného signálu vo vozidle bolo vozidlo vzdialené od koridoru pohybu chodca cca 19 m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 2,0 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec bol vzdialený cca 0,6 m od koridoru pohybu vozidla. K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,5 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 13m od koridoru pohybu chodca. Chodec sa pohyboval cca 0,3 m v koridore pohybu vozidla Volvo. Po uplynutí cca 2 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridoru pohybu chodca. Vplyvom brzdenia došlo k zrážke s chodcom rýchlosťou cca 12 km/h oproti 47 km/h pri dopravnej nehode.

#### Prípadová štúdia č.3

V prípadovej štúdii č.3 jazdilo vozidlo Volvo v oblúku ustálenou rýchlosťou cca 14 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval smerom kolmo sa smer pohybu vozidla. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 4,0 km/h. V momente aktivácie varovného signálu vo vozidle bolo vozidlo vzdialené od koridoru pohybu chodca cca 3,3 m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 1,0 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec už bol cca 0,25 m v koridore pohybu vozidla. K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,2 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 1,6 m od koridora pohybu chodca. Chodec sa pohyboval cca 0,6 m v koridore pohybu vozidla Volvo. Po uplynutí cca 2,0 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridora pohybu chodca. Vplyvom brzdenia došlo k zastaveniu vozidla cca 1 m pred koridorom pohybu chodca.

#### Prípadová štúdia č.4

V prípadovej štúdii č.4 jazdilo vozidlo Volvo v priamom smere ustálenou rýchlosťou cca 46 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval smerom kolmo na smer pohybu vozidla. Chodec vošiel do jazdného pruhu spoza vozidla jazdiaceho rýchlosťou cca 20 km/h v ľavom jazdnom pruhu. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 4,2 km/h. V momente aktivácie varovného signálu bolo vozidlo Volvo vzdialené od koridora pohybu chodca cca 18 m a jazdilo cca 49 km/h. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 1,7 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec bol ešte cca 0,5 m pred koridorom pohybu vozidla. K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,6 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 11,5 m od koridora pohybu chodca. Chodec sa pohyboval cca 0,3 m v koridore pohybu vozidla Volvo. Po uplynutí cca 1,8 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridora pohybu chodca. Vplyvom brzdenia došlo k zrážke s chodcom rýchlosťou cca 26 km/h oproti rýchlosti cca 50 km/h pri dopravnej nehode.

#### Prípadová štúdia č.5

V prípadovej štúdii č.5 jazdilo vozidlo Volvo v priamom smere ustálenou rýchlosťou cca 35 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval smerom kolmo na smer pohybu vozidla. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 5,0 km/h. V momente aktivácie varovného signálu bolo vozidlo vzdialené od koridora pohybu chodca cca 12,5 m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 1,5 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec bol ešte cca 1,1 m pred koridorom pohybu vozidla. K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo nedošlo a samotný náraz do figuríny nastal v ľavom prednom

rohu vozidla, ako tomu bolo aj pri DN. Rozdiel pri meraní bol v tom, že vozidlo upozornilo vodiča cca 1,5 s pred zrážkou na vstup chodca do koridora pohybu vozidla. Stačil veľmi malý vyhýbací manéver zo strany vodiča a mohlo dôjsť k zabráneniu dopravnej nehody.

#### Prípadová štúdia č.6

V prípadovej štúdii č.6 jazdilo vozidlo Volvo v priamom smere ustálenou rýchlosťou cca 30 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval smerom kolmo na smer pohybu vozidla. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 4,0 km/h. Z analýzy predmetnej prípadovej štúdie ako v jedinom prípade vyplynulo, že vodič začal reagovať na chodca v momente, keď chodec vstúpil na vozovku. Z analýzy nehodovej situácie vyplynulo, že v čase reakcie vodiča na chodca bolo vozidlo VW vzdialené cca 11 m. V momente aktivácie varovného signálu pri experimentálnom meraní bolo vozidlo Volvo vzdialené od koridora pohybu chodca cca 3,7 m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 0,5 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec bol ešte cca 0,5 m pred koridorom pohybu vozidla. Z predmetného merania je možné povedať, že vodič vozidla VW pri dopravnej nehode reagoval na chodca cca 1,5 s pred zrážkou, čo je o cca 1,0 s skôr ako autonómny systém vozidla Volvo. Tým, že vodič vozidla VW po ubehnutí reakčnej doby brzdil, došlo k zrážke s chodcom v oblasti stredu vozidla. Samotný naraz figuríny na vozidlo Volvo bol tým posunutý o cca 0,6 m. Keďže vozidlo Volvo nebrzdilo, dosiahlo koridor pohybu chodca skôr a teda samotný chodec bol viac posunutý doprava v smere jazdy vozidla. K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,2 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 2,1 m od koridora pohybu chodca. Chodec sa pohyboval cca 0,5 m pred koridorom pohybu vozidla Volvo. Po uplynutí cca 0,3 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridora pohybu chodca. Vplyvom nábehu brzdenia došlo k zrážke s chodcom rýchlosťou cca 27 km/h oproti rýchlosti cca 30 km/h pri dopravnej nehode.

#### Prípadová štúdia č.7

V prípadovej štúdii č.7 jazdilo vozidlo Volvo v oblúku ustálenou rýchlosťou cca 45 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval smerom kolmo na smer pohybu vozidla. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 4,2 km/h. V momente aktivácie varovného signálu bolo vozidlo vzdialené od koridora pohybu chodca cca 16 m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 1,6 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec bol v pozícii priamo pred vozidlom, ale vozidlo jazdilo v oblúku a chodec bol vzdialený ešte cca 0,5 m pred koridorom pohybu vozidla na vozovke. K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,4 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 11 m od koridora pohybu chodca. Chodec sa pohyboval cca 0,2 m v koridore pohybu vozidla Volvo. Po uplynutí cca 1,5 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridora pohybu chodca. Vplyvom brzdenia došlo k zrážke s chodcom rýchlosťou cca 16 km/h oproti rýchlosti cca 45 km/h pri dopravnej nehode.

#### Prípadová štúdia č.10

V prípadovej štúdii č.10 jazdilo vozidlo Volvo v priamom smere postupne znižujúcou sa rýchlosťou z cca 70 km/h na cca 45 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii chodec stál na okraji vozovky. V momente aktivácie varovného signálu bolo vozidlo vzdialené od figuríny cca 18 m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 1,9 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec bol v pozícii priamo pred vozidlom. K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,5 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 12 m od figuríny chodca. Po uplynutí cca 1,9 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni chodca. Vplyvom brzdenia došlo k zrážke s chodcom rýchlosťou cca 16 km/h oproti rýchlosti cca 45 km/h pri dopravnej nehode.

#### Prípadová štúdia č.11

V prípadovej štúdii č.11 jazdilo vozidlo Volvo v priamom smere ustálenou rýchlosťou cca 32 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval smerom kolmo na smer pohybu vozidla. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 5,2 km/h. V momente aktivácie varovného signálu bolo vozidlo vzdialené od koridora pohybu chodca cca 10,5m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 1,5 s pred

koridorom pohybu chodca. Chodec bol ešte cca 0,2 m pred koridorom pohybu vozidla. K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,4 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 10m od koridora pohybu chodca. Chodec sa pohyboval cca 0,3 m v koridore pohybu vozidla Volvo. Po uplynutí nábehu brzdného účinku došlo k skokovému vypnutiu autonómneho brzdenia vozidla Volvo. Nie je známy dôvod prečo k tomu v predmetnom prípade došlo. Po uplynutí cca 1,5 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridora pohybu chodca. Vplyvom brzdenia došlo k zrážke s chodcom rýchlosťou cca 21 km/h oproti rýchlosti cca 32 km/h pri dopravnej nehode.

#### Prípadová štúdia č.14

V prípadovej štúdii č.14 jazdilo vozidlo Volvo v priamom smere ustálenou rýchlosťou cca 42 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval pod 30° uhlom k rovine kolmej na smer pohybu vozidla. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 3,0 km/h. V momente aktivácie varovného signálu bolo vozidlo vzdialené od koridora pohybu chodca cca 10,5 m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 1,1 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec sa nachádzal cca v osi vozidla. K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,1 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 8,5 m od koridora pohybu chodca. Chodec sa nachádzal približne v osi vozidla. Po uplynutí cca 1,0 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridora pohybu chodca. Vplyvom brzdenia došlo k zrážke s chodcom rýchlosťou cca 18 km/h oproti rýchlosti cca 42 km/h pri dopravnej nehode. Vozidlo Volvo minulo chodca.

#### Prípadová štúdia č.16

Priemerný reakčný čas vodiča na krízovú dopravnú situáciu pri nezhoršených poveternostných podmienkach je cca 0,8 s [31]. V prípadovej štúdii č. 16 jazdilo vozidlo Opel Corsa rýchlosťou cca 40 km/h v priamom smere a z rady vozidiel na ľavej strane vozovky vykročil do koridoru pohybu vozidla chodec. Pri tomto meraní vodič vozidla Volvo čakal s reakciou do momentu, kedy dôjde k akusticko-vizuálnemu varovaniu vozidla na chodca. Vozidlo Volvo aktivovalo akusticko-vizuálny alarm cca 0,6 s pred koridorom pohybu chodca a následne došlo k rýchlej reakcii a prudkému vyhýbaciemu manévru vodiča. Vodič v tomto prípade zabránil zrážke s chodcom a došlo k veľmi tesnému minutiu samotného chodca. Ale z merania vyplynulo, že už varovanie, ktoré príde 0,6 s pred koridorom pohybu chodca, môže zabezpečiť pri rýchlej a správnej reakcii vodiča zabráneniu dopravnej nehody. Z grafu akcelerácie vyplynulo, že v momente kedy došlo k aktivácii akusticko-vizuálneho alarmu, došlo aj k začiatku nábehu brzdného účinku. Po cca 0,15 s došlo k prerušeniu nábehu tohoto autonómneho brzdenia z dôvodu zásahu vodiča do riadenia vozidla. Ak by vodič nezasiahol do riadenia a vozidlo by jazdilo ďalej, tak by došlo k zrážke vozidla s chodcom. Vozidlo by ale jazdilo rýchlosťou o cca 13-16 km/h nižšou ako v čase dopravnej nehody. Je technicky pravdepodobné, že by pri jazde takouto rýchlosťou a zrážke chodca približne v strede vozidla došlo k aktivácii aktívnej kapoty a následnému aktivovaniu airbagu pre chodcov. Rýchlosť jazdy cca 25 km/h je dostatočne veľkým kritériom k jej aktivácii. [43]

#### Prípadová štúdia č.18

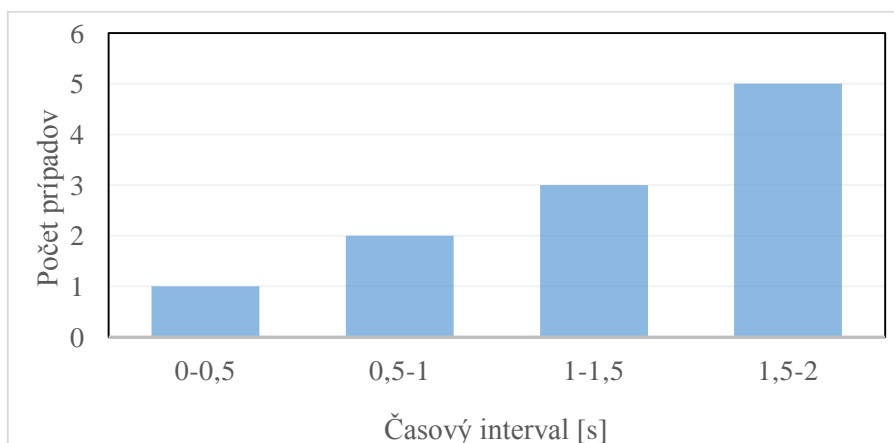
V prípadovej štúdii č.18 jazdilo vozidlo Volvo v priamom smere ustálenou rýchlosťou cca 46 km/h. Táto rýchlosť vyplynula zo záznamového zariadenia PIC Daq, tak aj z GPS záznamu. Pri predmetnej štúdii sa chodec pohyboval pod 15° uhlom k rovine kolmej na smer pohybu vozidla. Chodec sa pohyboval rýchlosťou cca 3,8 km/h. V momente aktivácie varovného signálu bolo vozidlo vzdialené od koridoru pohybu chodca cca 16,5 m. Aktivácia akusticko-vizuálneho varovného signálu nastala cca 1,5 s pred koridorom pohybu chodca. Chodec už bol cca 0,5 m v koridore pohybu vozidla. K aktivácii autonómneho brzdenia vo vozidle Volvo došlo cca po 0,4 s od akustického varovania. Vozidlo Volvo jazdilo v tomto momente cca 9,5 m od koridoru pohybu chodca. Chodec sa nachádzal cca 0,1 m vpravo od osi vozidla. Po uplynutí cca 1,5 s od momentu aktivácie akustického signálu vozidlo Volvo jazdí na úrovni koridora pohybu chodca. Vplyvom brzdenia nedošlo k zrážke s chodcom a vozidlo jazdilo v oblasti koridoru pohybu chodca rýchlosťou cca 20 km/h oproti rýchlosti cca 46 km/h pri dopravnej nehode. Vozidlo Volvo minulo chodca.

## 11. Vplyv zásahu autonómneho brzdenia vozidla na priebeh nehodového deja

Pri spracovaní komplexnej analýzy nehodového deja je dôležitou časťou znaleckého posudku zabránenie dopravnej nehode, nakoľko poukazuje na vplyv daného parametra (rýchlosti, oneskorenej reakcie, nedodržanie bezpečného bočného, prípadne pozdĺžneho odstupu) na príčinu dopravnej nehody.

### 11.1 Vyhodnotenia aktivácie alarmu vo vozidle

Z analýzy nameraných dát vyplynulo, že v 61% prípadov, kde vozidlo rozpoznalo figurínu a vyhodnotilo ju ako prekážku – „chodec“, došlo k varovaniu vodiča v časových intervaloch pred zrážkou s chodcom (pozri Graf 5). Zo stĺpcového grafu je zrejmé, že v ôsmych prípadových štúdiách z celkového počtu meraní bolo varovanie vodiča viac ako 1 s pred zrážkou. Je otázkou ďalších výskumných krokov určiť, aká je doba nutná na reakciu nesústreďeného vodiča na tento alarm a následnú vodičovú akciu (vyhýbanie, brzdenie,...).



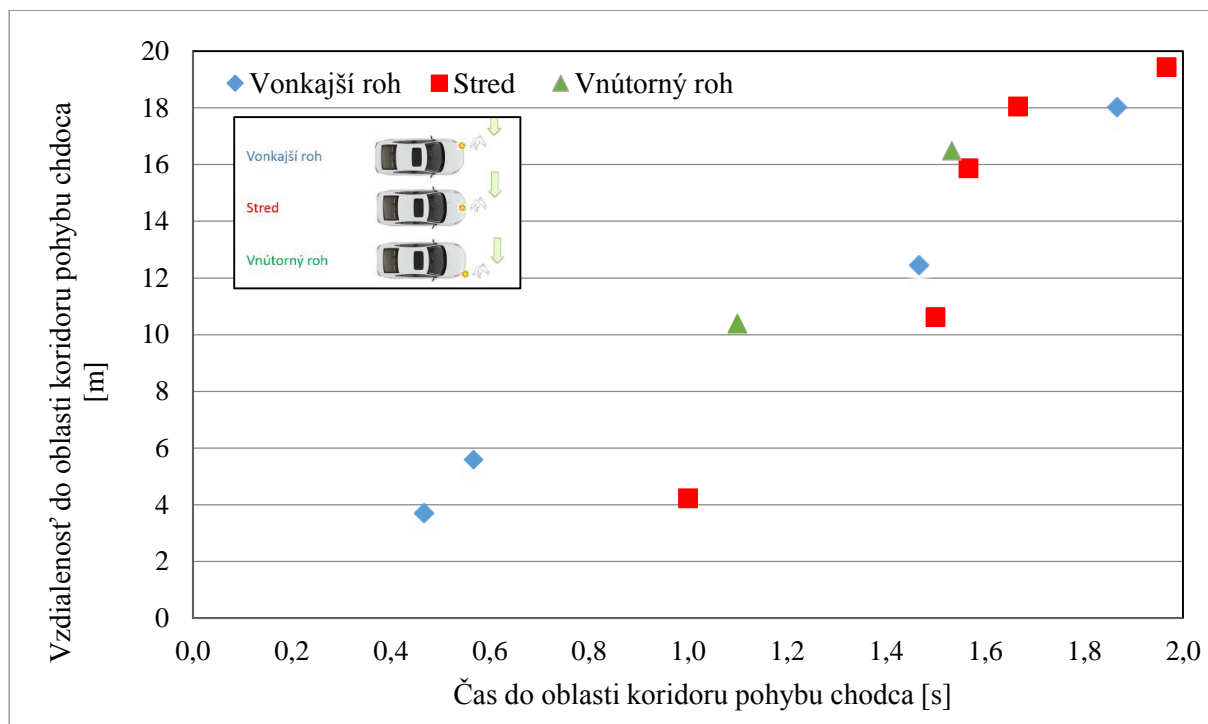
Graf 5 Časový interval od začiatku varovania vodiča do oblasti koridoru pohybu chodca.

Zo súdnoznaleckého pohľadu je dôležitým prvkom zistenie závislosti rýchlosti, dráhy a času kedy došlo k aktivácii akustického vizuálneho alarmu. V prípadových štúdiách došlo v niektorých prípadoch aj po aktivácii alarmu k zrážke vozidla s chodcom. Pre presnejšie vyobrazenie závislosti bude používané v grafoch rozlíšenie podmienok aktivácie varovania v závislosti na náraze figuríny do vozidla a to podľa nasledovného obrázku (pozri Obr. 13).



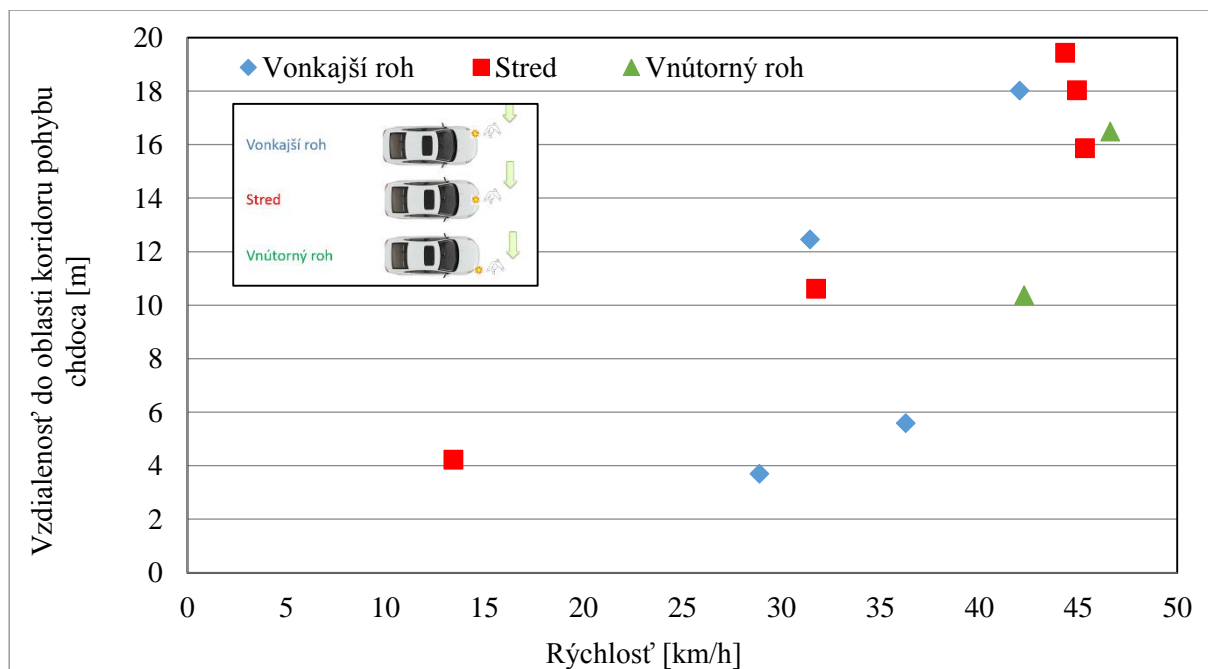
Obr. 13 Pohyb figuríny a následný kontakt s vozidlom v troch oblastiach. [60]

Závislosť aktivácie alarmu na čase a vzdialenosti vozidla pred koridorom pohybu figuríny je vyobrazená nižšie (pozri Graf 6). Z grafu je zrejماً približná lineárna závislosť aktivácie alarmu na vzdialenosti od koridoru pohybu figuríny. Jednotlivé farby bodov reprezentujú podmienky varovania v závislosti na náraze figuríny do predmetnej oblasti vozidla.



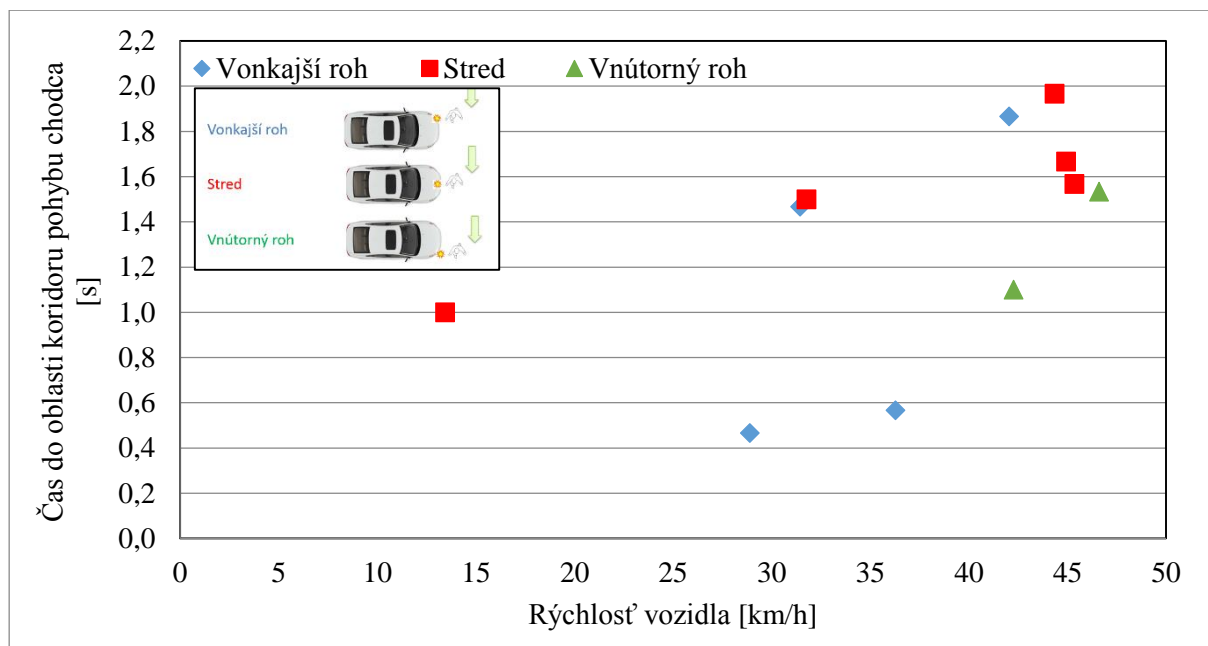
Graf 6 Závislosť aktivácie alarmu na čase a vzdialenosti vozidla pred koridorom pohybu figúriny.

Závislosť aktivácie alarmu na rýchlosti a vzdialenosti vozidla pred koridorom pohybu figúriny je vyobrazená nižšie (pozri Graf 7). Z grafu nie je zrejماً čiastočne lineárna závislosť aktivácie alarmu na rýchlosti od koridora pohybu figúriny. Graf môže slúžiť najmä na vyhodnotenie výpovedí vodiča pri reálnych dopravných nehodách. Jednotlivé farby bodov reprezentujú podmienky varovania vodiča v závislosti na náraze figúriny do predmetnej oblasti vozidla.



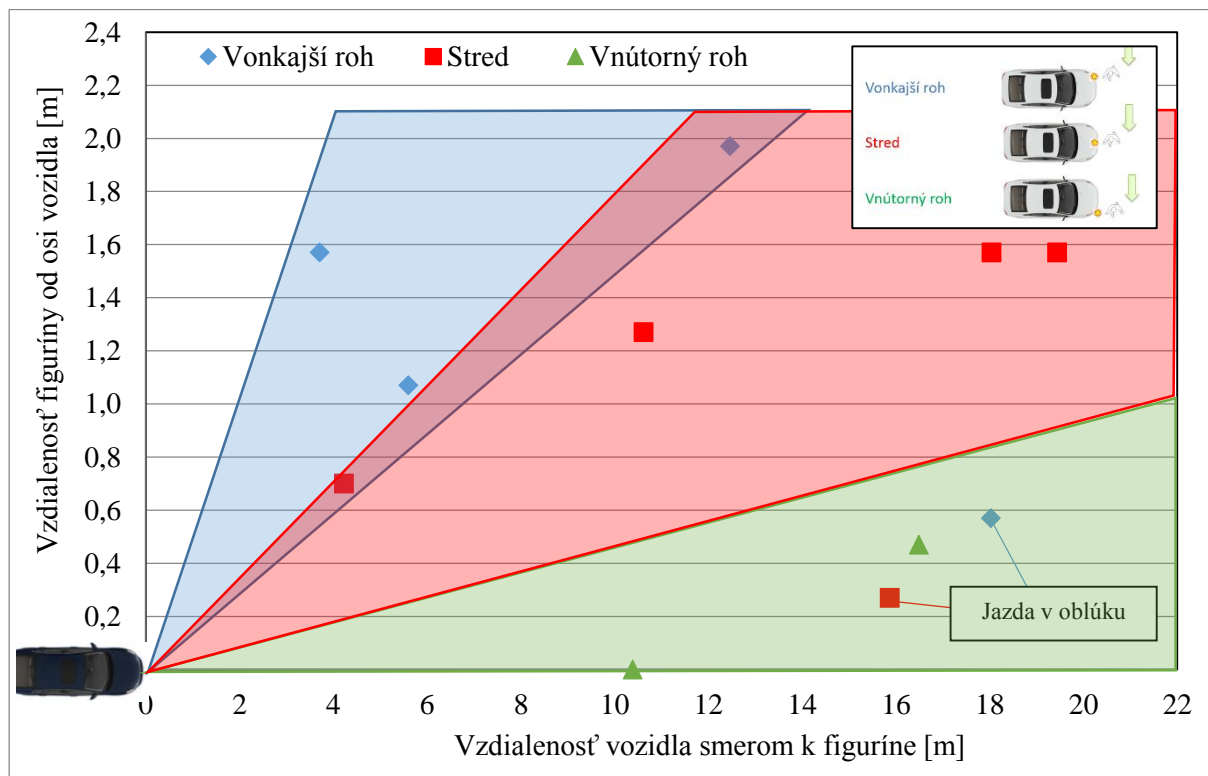
Graf 7 Závislosť aktivácie alarmu na rýchlosti a vzdialenosti vozidla pred koridorom pohybu figúriny

Závislosť aktivácie alarmu na rýchlosti a čase vozidla pred koridorom pohybu figúriny je vyobrazený nižšie (pozri Graf 8). Z grafu nie je zrejماً lineárna závislosť aktivácie alarmu na rýchlosti a čase od koridora pohybu figúriny. Graf môže slúžiť najmä na vyhodnotenie výpovedí vodiča pri reálnej nehode. Jednotlivé farby bodov reprezentujú podmienky varovania vodiča v závislosti na náraze figúriny do predmetnej oblasti vozidla.



Graf 8 Závislosť aktivácie alarmu na rýchlosti a čase vozidla pred koridorom pohybu figuríny.

Závislosť aktivácie alarmu na vzdialenosti vozidla pred koridorom pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od osi pohybu vozidla je vyobrazená nižšie (pozri Graf 9 a Graf 10). Z grafov nie je zrejmá lineárna závislosť aktivácie alarmu na vzdialenosti vozidla od koridora pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od koridora pohybu vozidla. Z grafov je ale zrejmá tendencia aktivácie alarmu v závislosti na oblasti, v ktorej došlo ku kontaktu vozidla s chodcom pri samotnej zrážke, aj napriek tomu, že vozidlo chodca rozpoznalo. V grafe je možné rozpoznať dve prípadové štúdie, pri ktorých jazdilo vozidlo Volvo v oblúku. Tieto štúdie nie je možné zahrnúť do porovnania medzi ostatnými prípadmi, kde vozidlo jazdilo rovno a tomu zodpovedá aj nelogickosť umiestnenia týchto bodov v grafe.

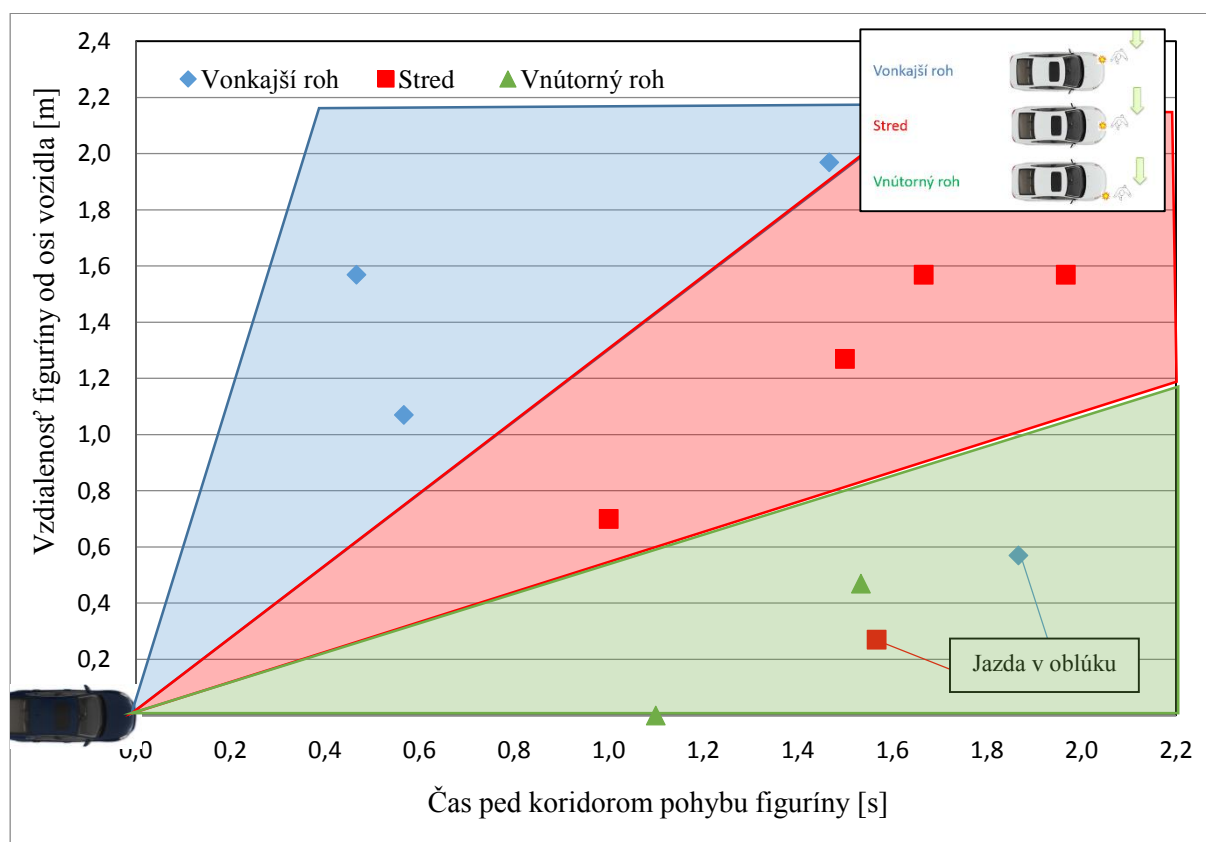


Graf 9 Závislosť aktivácie alarmu na vzdialenosti vozidla pred koridorom pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od osi pohybu vozidla.

V prípadových štúdiách, kde vozidlo jazdilo rovno je možný trend závislosti aktivácie alarmu na vzdialenosti od koridoru pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od koridoru pohybu vozidla. V grafe (pozri Graf 9) sú vytýčené tri oblasti zodpovedajúce zrážke vozidla s figurínou na vonkajšom rohu, v strede vozidla alebo na vnútornom rohu. **Z grafu je zrejmé, že ak došlo k nárazu vozidla do figuríny na vonkajší roh vozidla, tak samotná aktivácia alarmu nastáva v rozsahu, keď je samotná figurína vzdialená vo väčšej vzdialenosti ako keď dôjde k aktivácii alarmu a následného kontaktu vozidla na vnútorný roh.** Tento priebeh je v celku logický, to znamená, že vozidlo si necháva pri kontakte na vnútorný roh viac času na zásah systému z dôvodu, že predpokladá, že figurína opustí koridor pohybu vozidla.

Závislosť aktivácie alarmu na čase vozidla pred koridorom pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od osi pohybu vozidla je vyobrazená nižšie (pozri Graf 10). Z grafu nie je zrejmá lineárna závislosť aktivácie alarmu na čase vozidla pred koridorom pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od osi pohybu vozidla. Z grafu je ale zrejmá tendencia aktivácie alarmu v závislosti na oblasti, v ktorej došlo ku kontaktu vozidla s chodcom pri samotnej zrážke, aj napriek tomu, že vozidlo chodca rozpoznalo. V grafe je možné rozpoznať dve prípadové štúdie, pri ktorých jazdilo vozidlo Volvo v oblúku. Tieto štúdie nie je možné zahrnúť medzi ostatné prípady, kde vozidlo jazdilo rovno a tomu zodpovedá aj nelogickosť umiestnenia týchto bodov v grafe.

V prípadových štúdiách, kde vozidlo jazdilo rovno, je jasný trend závislosti aktivácie alarmu na čase vozidla pred koridorom pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od osi pohybu vozidla. V grafe sú vytýčené tri oblasti zodpovedajúce zrážke vozidla s figurínou na vonkajšom rohu, v strede vozidla alebo na vnútornom rohu. **Z grafu je zrejmé, že ak došlo k nárazu vozidla do figuríny na vonkajší roh, tak samotná aktivácia alarmu nastáva v rozsahu, keď je samotná figurína vzdialená vo väčšej vzdialenosti ako keď dôjde k aktivácii alarmu a následnému kontaktu vozidla na vnútorný roh.** Tento priebeh je v celku logický a je možné konštatovať, že vozidlo si necháva pri kontakte na vnútorný roh viac času na zásah systému z dôvodu, že predpokladá, že figurína opustí koridor pohybu vozidla.



Graf 10 Závislosť aktivácie alarmu na čase vozidla pred koridorom pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od osi pohybu vozidla.

Vytvorenie jednoznačnej závislosti aktivácie alarmu vo vozidle Volvo v priebehu nehodovej situácie nie je úplne možné. Pre súdnoznalecké potreby je možné čerpať orientačne informácie z Grafov 12-13. Z týchto grafov nie je zrejмый jasný trend aktivácie alarmu. Približnú lineárnu závislosť aktivácie alarmu je možné rozpoznať v grafe (pozri Graf 6).

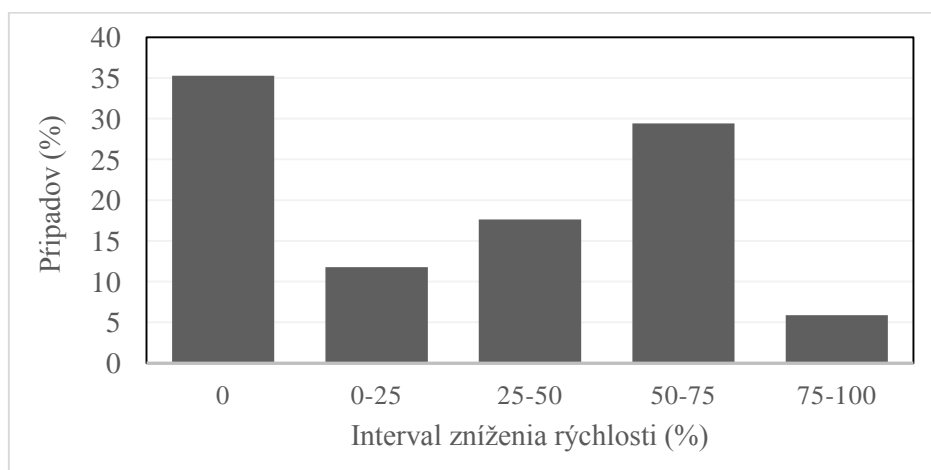
Dôležitým zistením je, že z meraní je zrejмая závislosť miesta kontaktu figuríny s vozidlom na vzdialenosti vozidla od koridora pohybu figuríny a vzdialenosti figuríny od koridora pohybu vozidla. Z grafu (pozri Graf 9) je zrejмый, že ak došlo k nárazu vozidla do figuríny na vonkajší roh, tak samotná aktivácia alarmu nastáva v rozsahu, keď je samotná figurína vzdialená vo väčšej vzdialenosti ako keď dôjde k aktivácii alarmu a následnému kontaktu vozidla na vnútorný roh.

Dôležitým zistením je, že z meraní je zrejмая závislosť miesta kontaktu figuríny s vozidlom na čase vozidla od koridora pohybu figuríny pri aktivácii alarmu a vzdialenosti figuríny od koridora pohybu vozidla. Z grafu (pozri Graf 10) je zrejмый, že ak došlo k nárazu vozidla do figuríny na vonkajší roh, tak samotná aktivácia alarmu nastáva v rozsahu, keď je samotná figurína vzdialená vo väčšej vzdialenosti ako keď dôjde k aktivácii alarmu a následnému kontaktu vozidla na vnútorný roh.

## 11.2 Vyhodnotenie zníženia rýchlosti vplyvom autonómného brzdzenia vozidla

Po fáze akustického a vizuálneho varovania je tlakový okruh brzdovej sústavy vozidla predpripravený na plné brzdenie. Systém ešte pred samotným brzdením v čase varovania vymedzí vôle medzi brzdovým kotúčom a brzdovými doštičkami tak, aby doba nábehu plného brzdzenia bola čo najkratšia. Vozidlo pri autonómnom brzdení využíva maximálny potenciál brzdovej sústavy na dosiahnutie čo najvyššieho spomalenia pri brzdení. Z meraní na novom asfaltovom povrchu vyplynulo, že priemerné brzdové spomalenie vozidla Volvo sa pohybuje okolo  $10,7 \text{ m/s}^2$  pri suchom i mokrom jednoliatom novom asfaltovom povrchu (v testovacej ploche v Alhamingu).

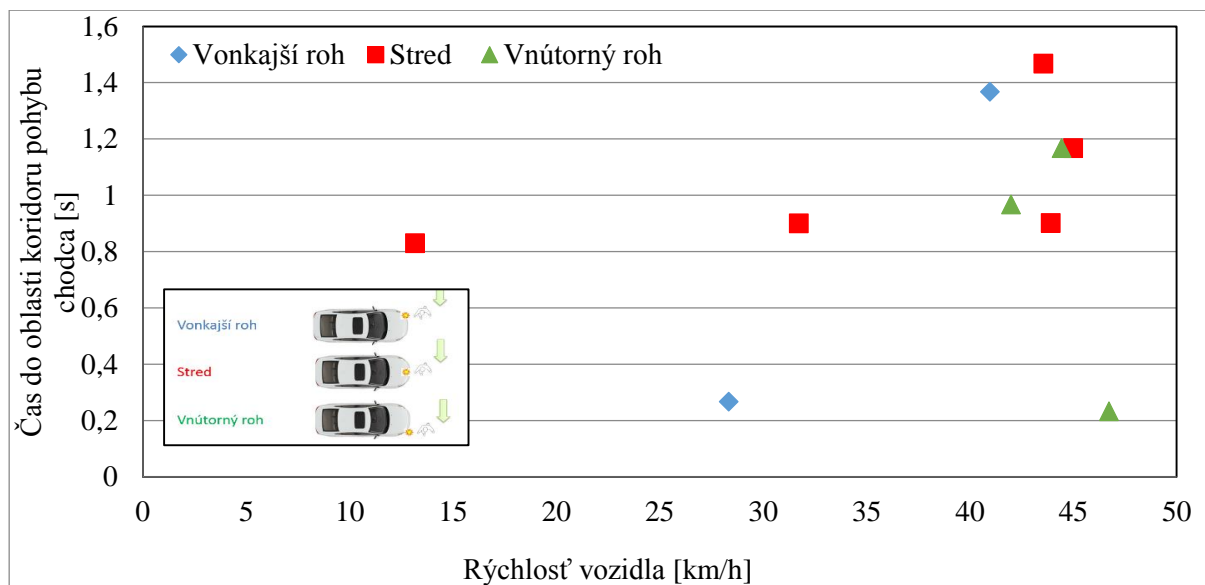
Po uplynutí akustického varovania vodiča došlo v 63 % prípadových štúdií k autonómnemu brzdzeniu vozidla. **Časový interval od prvej akusticko-vizuálnej reakcie systému po prvotný moment brzdzenia bol v intervale od 0,1 s po 0,8 sekundy.** V 6 % prípadov došlo k začiatku brzdzenia bez predošlého akustického varovania (pozri Graf 11). Z meraní vyplynulo, že ak vodič zasiahne v dobe varovania alebo autonómného brzdzenia do riadenia vozidla, a to prudkým zásahom do riadenia vozidla, ukončí týmto úkonom proces varovania a autonómného brzdzenia. Je cieľom zistenia ďalších štúdií, aký časový interval po prvotnom varovaní potrebuje nesústredený vodič na to, aby reagoval na alarm a objekty v koridore jazdy a následne urobil správny manéver na zabránenie zrážke s týmto objektom.



Graf 11 Zobrazenie %-tuálneho zníženia rýchlosti vozidla v čase zrážky oproti reálnej DN

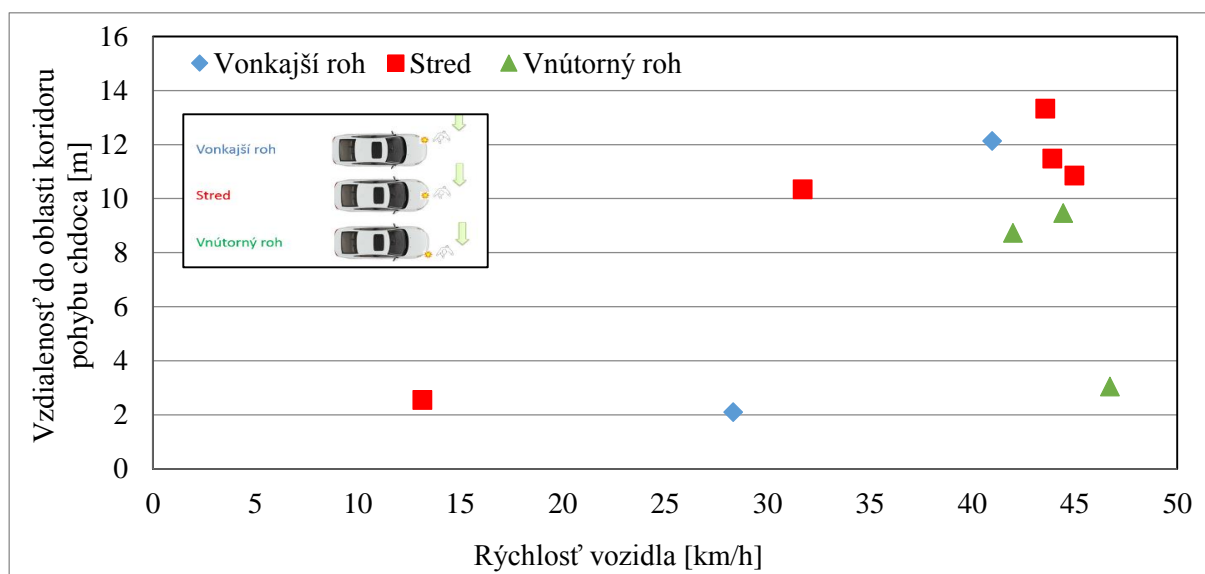
Závislosť aktivácie autonómného brzdzenia na rýchlosti a čase vozidla pred koridorom pohybu figuríny je vyobrazená nižšie (pozri Graf 12). Z grafu nie je zrejмая lineárna závislosť aktivácie alarmu na rýchlosti od koridoru pohybu figuríny. Graf môže slúžiť najmä na vyhodnotenie výpovedi vodiča pri reálnych dopravných nehodách. Jednotlivé farby bodov reprezentujú podmienky varovania v závislosti na náraze figuríny do predmetnej oblasti vozidla.





Graf 12 Závislosť aktivácie autonómneho brzdenia na rýchlosti a čase vozidla pred koridorom pohybu figuríny

Závislosť aktivácie autonómneho brzdenia na rýchlosti a vzdialenosti vozidla pred koridorom pohybu figuríny je vyobrazená nižšie (pozri Graf 13). Z grafu nie je zrejماً lineárna závislosť aktivácie alarmu na rýchlosti od koridoru pohybu figuríny. Graf môže slúžiť najmä na vyhodnotenie výpovedí vodiča pri reálnych dopravných nehodách. Jednotlivé farby bodov reprezentujú podmienky varovania v závislosti na náraze figuríny do predmetnej oblasti vozidla.



Graf 13 Závislosť aktivácie autonómneho brzdenia na rýchlosti a vzdialenosti vozidla pred koridorom pohybu figuríny

## 12. Metóda vyhodnotenia experimentálneho riešenia dopravných nehôd s chodcami pre vozidla osadené aktívnym bezpečnostným systémom na rozpoznávanie chodcov

Pri riešení dopravnej nehody vozidla (s aktívnym bezpečnostným systémom na rozpoznanie chodca) s chodcom sa expert, znalec alebo znalecký ústav neubrání tomu, že bude musieť predmetnú situáciu presne namodelovať v simulačnom programe a následne overiť funkciu systému na základe vyšetrovacieho pokusu. Pri vyšetrovacom pokuse bude použité typovo zhodné vozidlo a pohybujúca sa figurína, ktorá bola evaluovaná v laboratórnych podmienkach. Vyšetrovacie pokusy s použitím figuríny bez evaluačného protokolu je možné použiť len pre informačné potreby a nie je možné z týchto meraní

vyvodiť súdnoznalecké závery. Objekty, ktoré slúžia na navodenie pohybu figuríny, musia byť taktiež evaluované či a do akej miery ovplyvňujú svojimi odrazovými vlastnosťami radar vozidla.

Metodický postup vyhodnotenie priebehu dopravnej nehody chodca s vozidlom osadeným aktívnym bezpečnostným systémom:

1. Zistiť z technického manuálu, či aktívny bezpečnostný systém vozidla vie rozpoznávať chodcov a autonómne reagovať na kolíziu situáciu.
2. Vykonať časovo-priestorovú analýzu zrážky, a pohybu vozidla a chodca do konečných polôh na základe technickej dokumentácie k dopravnej nehode
3. Zistiť, či aktívny bezpečnostný systém rozpoznáva chodcov pomocou kombinácie radaru a kamery (kamier) alebo len na základe stereo kamery.
4. Ak systém rozpoznáva chodcov kombináciou radar+kamera, je potrebné zabezpečiť figurínu chodca, ktorá zodpovedá svojimi fyzikálnymi vlastnosťami reflexným vlastnostiam človeka pre predmetný radar detekujúci chodcov pred vozidlom.
5. Ak systém rozpoznáva chodca len na základe stereo kamery, postačí figurína, ktorá zodpovedá svojim tvarom človeku.
6. Zabezpečiť na výkon experimentu systém na simuláciu pohybu chodca (figuríny), ktorý neovplyvňuje svojím technickým prevedením falošnú aktiváciu aktívneho bezpečnostného systému vozidla.
7. Osadenie vozidla kamerovým systémom a technikou na záznam dynamických veličín pohybu vozidla pre spätné vyhodnotenie priebehu experimentu a aktivácie systému.
8. Rozmiestnenie kamerového systému v okolí simulovanej debovej línie pre spätné vyhodnotenie priebehu experimentu a aktivácie systému.
9. Vytvorenie rovnomerných markerov v okolí kolíznej oblasti vozidla s figurínou pre potreby spätnej analýzy pohybu sústavy.
10. Vytvoriť na základe časovo priestorovej analýzy synchronizovaný dej vozidlo+figurína s využitím systému na kontrolovaný pohyb figuríny. V čase zrážky vozidla s figurínou musí byť rýchlosť vozidla v približnej zhode s rýchlosťou pohybu vozidla, ktorá vyplynula z analýzy zrážky.
11. Po vykonanom experimentálnom meraní je potrebná video analýza priebehu debovej línie za účelom určenia kľúčových miest aktivácie a zásahu aktívneho bezpečnostného systému do riadenia vozidla.
12. Vyhodnotenie momentu aktivácie alarmu vo vozidle (rýchlosť, čas a vzdialenosť vozidla od koridora pohybu chodca). Poloha chodca v čase aktivácie alarmu (čas a vzdialenosť od koridora pohybu vozidla).
13. Vyhodnotenie momentu aktivácie autonómneho brzdenia vo vozidle (rýchlosť, čas a vzdialenosť vozidla od koridora pohybu chodca). Poloha chodca v čase aktivácie autonómneho brzdenia (čas a vzdialenosť od koridora pohybu vozidla).

K bodu 10. metodického postupu je potrebné uviesť, že ak vozidlo pred zrážkou brzdilo, je potrebné experimentálne meranie urobiť z rýchlosti jazdy vyššej ako bola rýchlosť jazdy v čase samotnej zrážky s chodcom. Keďže neexistuje úplná závislosť jednotných faktorov pohybu vozidla a jeho reakcie, je možné s využitím grafov v kapitole 11 prispôbiť rýchlosť jazdy vozidla na začiatku debovej línie. Z jednotlivých závislostí je možné predikovať chovanie vozidla pred zrážkou a urýchliť tak proces vyhodnotenia priebehu nehodového deja.

Po hĺbkovej analýze dát z vykonaných meraní bol Dr. Andreasom Moserom vytvorený nový matematický modul pre simulačný program PC-Crash. V nastupujúcej verzii programu PC-Crash 10.2 je vytvorený modul Active safety EmBraking. Merania vykonané pre účely tejto práce slúžili najmä na exaktné pochopenie systému za účelom návrhu modelu pre vyhodnocovanie. Celý model EmBraking je modulárny a je na samotnom znalcovi alebo expertovi ako si jednotlivé moduly vyskladá. Modul umožní tak experimentálne vyhodnocovanie a zadávanie dát priamo v programe PC-Crash 10.2. Môže tak dôjsť k rýchlejšiemu vyhodnoteniu podmienok pre experimentálne meranie aktívnych bezpečnostných systémov. Výslednú časovo-priestorovú analýzu dopravnej nehody možno exportovať v protokole programu PC-Crash 10.2. Tento modul je prvým takýmto modulom pre potreby znalcov a expertov v oblasti dopravných nehôd.

### 13. Záver

Na základe analýzy testovaných štúdií bolo zistené, že systém na rozpoznávanie chodcov od spoločnosti Volvo vo vozidle Volvo V40 CC modelového roku 2014 dokáže pri nízkych rýchlostiach do 35 km/h autonómne zastaviť vozidlo pred chodcom. V týchto prípadoch je pohyb chodca pre systém v dostatočnej miere predvídateľný (plynulý vstup chodca do koridoru pohybu vozidla). Systém je schopný na chodca reagovať ak môže chodca trakovať a nebráni mu v tom objekt, ktorý by zakrýval výhľad kamery na chodca. V týchto prípadoch, kde systém dokáže zastaviť vozidlo z nízkej rýchlosti je nutné podotknúť, že sa nejedná o skok, respektíve náhlu zmenu smeru pohybu chodca smerom do vozovky. Pri experimentálnom meraní sa rýchlosť pohybu figuríny pohybovala od cca 3 km/h do cca 7 km/h.

**Pri rýchlostiach pohybu vozidla vyšších ako 35 km/h môže dôjsť k značnému zníženiu rýchlosti vozidla pred samotnou zrážkou s chodcom, ale to maximálne do 35 km/h (oproti rýchlosti vozidla, ktorá bola v čase začiatku reakcie systému).** Zníženie rýchlosti do 35 km/h je pri zohľadnení rýchlosti vozidla do miesta koridora pohybu chodca. Ak bola po zásahu systému rýchlosť vozidla pri samotnom prejazde v oblasti koridora pohybu chodca do cca 10 km/h, tak vozidlo po prejazde rovinou pohybu chodca dobrzdilo do nulovej rýchlosti. V niektorých prípadoch došlo ale k tomu, že prejazdom roviny pohybu chodca prerušilo vozidlo autonómne brzdenie. V týchto prípadoch vozidlo jazdilo ďalej so zníženou rýchlosťou v smere jazdy. Celkový prehľad poklesu rýchlosti v dôsledku autonómneho zásahu vozidla je v tabuľke (pozri Tab. 6).

Štúdia č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Prekážka vo výhľade	áno			áno				áno									áno	
Smer pohybu vozidla	priamo	priamo	oblúk	priamo	priamo	priamo	oblúk	vyhybanie	oblúk	priamo	priamo	oblúk	priamo	priamo	priamo	priamo	priamo	priamo
Nárazová rýchlosť DN [km/h]	23	47	12	50	32	19	41	55	18	39	32	36	45	42	40	39	30	30
Alarm		áno	áno	áno	áno	áno	áno			áno	áno			áno		áno		áno
Čas pred zrážkou [s]		2,0	1,0	1,7	1,5	0,5	1,6			1,9	1,5			1,1		0,6		1,5
Brzdenie-čas pred zrážkou [s]		1,5	0,8	0,9		0,3	1,2			1,4	0,9			1,0		0,5		1,2
<b>Pokles rýchlosti v %</b>	<b>0</b>	<b>-74</b>	<b>-100</b>	<b>-48</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>-59</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-64</b>	<b>-34</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-57</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-30</b>

Tab. 6 Tabuľka prehľadu zníženia nárazovej rýchlosti vozidla Volvo pri testoch.

Aktívny bezpečnostný systém dokáže do značnej miery znížiť rýchlosť vozidla v čase zrážky. Z analyzovaných dopravných nehôd vyplynulo, že k fatálnemu zraneniu vplyvom zrážky s chodcom došlo ako pri rýchlosti jazdy vozidla cca 12 km/h, tak aj pri rýchlosti jazdy vozidla rýchlosťou cca 47 km/h. Pre súdnoznalecké vyjadrenie je možné povedať, že pravdepodobnosť fatálneho zranenia je o niečo nižšia pri rýchlosti jazdy cca 12 km/h. Pre vekovú kategóriu chodcov 60+ je však riziko fatálnych následkov dopravnej nehody vysoké už pri veľmi nízkych rýchlostiach. Ako vyplynulo aj z náhodného výberu dopravných nehôd pre účely tejto práce, výsledný vekový priemer chodcov sa vo výbere štúdií pohybuje okolo 69 rokov. V takýchto prípadoch je možné povedať, že ideálnym stavom by bolo, ak by vozidlo dokázalo zastaviť pred koridorom pohybu chodca.

V blízkej budúcnosti sa budeme stretávať pri riešení znaleckých úkonov v čoraz väčšej miere s vozidlami, ktoré sú osadené modernými sofistikovanými systémami. Tieto systémy majú uľahčiť a zabezpečiť pohyb vozidiel na cestách, ale taktiež prinášajú so sebou komplikácie spojené s riešením týchto nehôd z pohľadu experta či znalca. Z meraní, ktoré sa uskutočnili s vysoko sofistikovaným modelom vozidla Volvo V40 CC bolo zistené čiastočne chovanie vozidla v rôznych dopravných situáciách, ktoré svojou škálou pokrývajú bežný pohyb chodcov a vozidiel v mestskej premávke.

Z analýzy nameraných dát vyplynulo, že v 61% prípadov vozidlo rozpoznalo figurínu a vyhodnotilo ju ako prekážku – „chodec“. **Z vyhodnotených dát je zrejmé, že v ôsmych prípadových štúdiách z celkového počtu meraní bolo varovanie vodiča viac ako 1 s pred zrážkou. Je otázkou ďalších výskumných krokov určiť, aká je doba nutná na reakciu nesústreďeného vodiča na tento alarm a následnú vodičovú akciu (vyhýbanie, brzdenie,...).**

Po uplynutí akustického varovania vodiča došlo v 90 % prípadových štúdií k autonómnemu brzdeniu vozidla. Časový interval od prvej akusticko-vizuálnej reakcie systému po prvotný moment brzdenia bol v intervale od 0,1 s po 0,8 s. **Zo súdnoznaleckého pohľadu je možné povedať, že ak systém od spoločnosti Volvo začne varovať vodiča na nebezpečenstvo vstupu chodca do koridora vozidla a následne začne vozidlo aj brzdiť, tak nesústreďený vodič nestihne v týchto prípadoch zareagovať brzdením skôr, ako tomu učiní samotné vozidlo.**

Z analýzy brzdnych spomalení jasne vyplynulo, že vozidlo pri autonómnou brzdění dokáže brzdiť so spomalením cca  $10 \text{ m/s}^2$ . Táto hodnota brzdneho spomalenia je technicky prijateľná. Vozidlo dokáže pri samotnom brzdění využívať adhézne podmienky medzi vozovkou a pneumatikou na úrovni cca  $\mu=1,02$ . Pri brzdnych skúškach vykonaných testovacím vodičom bolo dosiahnutých v prípade vyvinutia maximálnej sily na brzdový pedál spomalenie na úrovni cca  $10 \text{ m/s}^2$ . **Zo súdnoznaleckého pohľadu je možné vysloviť záver, že vozidlo Volvo je schopné pri autonómnom brzdění spomaľovať zhodne ako pri maximálnom brzdění vyvolanom vodičom vozidla.**

Dôležitým prvkom pri brzdění vozidla a následnej analýze dopravnej nehody je časť nábehu brzdneho účinku. **Z meraní, kde došlo k aktivácii autonómného brzdění jednoznačne vyplynulo, že vozidlo Volvo potrebuje cca 0,5 s na nábeh brzdneho účinku. Z technickej praxe je pre súdnoznalecké účely používaná hodnota 0,2 s. [31]** Z technického hľadiska tak dochádza k predĺženiu nábehu brzdneho účinku vozidla zo štandardných 0,2 s na 0,5 s. Brzdny systém vozidla Volvo síce dokáže využiť maximálne dosiahnuteľné spomalenie cca  $10 \text{ m/s}^2$ , ale samotný nábeh brzdneho účinku na túto hodnotu trvá o cca 0,3 s dlhšie ako pri brzdění vodiča. Z technického hľadiska je možné povedať, že ak by vozidlo Volvo dokázalo vyvinúť maximálny brzdny účinok za dobu rovnajúcu sa 0,2 s, došlo by vo všetkých prípadových štúdiách, kde nastalo autonómne brzdění k ďalšiemu zníženiu rýchlosti v čase zrážky s figurínou o cca 5 km/h. Z technického pohľadu je zníženie rýchlosti vozidla v čase zrážky s chodcom o 5 km/h zásadným prvkom nehodového deja. Toto zníženie rýchlosti má následnú nadväznosť na závažnosť zranení.

Z meraní je zrejmý pozitívny prínos aktívneho bezpečnostného systému spoločnosti Volvo. Montáž predmetného systému do vozidiel je novodobým prvkom k znižovaniu závažnosti zranení chodca pri zrážke s osobným motorovým vozidlom. **Z meraní vyplynulo, že vozidlo Volvo V40 cc pri jazde nad 35 km/h nezastaví pred samotným chodcom. Časový interval, kedy je vodič upozornený na výskyt prekážky (chodca) pred vozidlom, sa pohybuje až do 2,5 sekundy. Táto doba môže pozitívne ovplyvniť priebeh nehodového deja pri včasnej reakcii vodiča na toto varovanie.**

**Základné zhrnutie zistení z meraní sa dá popísať v niekoľkých bodoch:**

- Systém nereaguje na ležiaceho chodca.
- Systém nereaguje na chodca nižšieho ako 80 cm.
- Systém nereaguje na chodca za tmy, ak je chodec osvetlený len stretávacími alebo diaľkovými svetlami vozidla.
- Pri dobrých svetelných podmienkach (do súmraku) systém rozlišuje osobu nezávisle na tom, či má chodec oblečenú reflexnú vestu alebo nie.
- Pri jazde s vozidlom oproti slnku, ktoré je v nízkej výške nad horizontom, systém reaguje na predmetnú situáciu a dokáže chodca rozpoznať (kamera nie je oslnená).
- Pri denných podmienkach systém reaguje na chodca, ktorý sa pohybuje rýchlosťou od cca 3 do cca 7,5 km/h (hodnota rýchlosti z reálnych testovaných nehôd). Vyššie rýchlosti pohybu chodca neboli testované.
- Časový interval od prvej akusticko-vizuálnej reakcie systému po prvotný moment brzdenia bol v intervale od 0,1 s po 0,8 sekundy.
- Vozidlo dokáže pri samotnom brzdění využívať adhézne podmienky medzi vozovkou a pneumatikou na úrovni  $\mu=1,02$  (suchá aj mokrá vozovka na testovacej ploche).

- Systém reaguje na chodca, ktorý stojí v jazdnom koridore vozidla.
- Systém reaguje na chodca, ktorý sa pohybuje kolmo na smer pohybu vozidla.
- Systém reaguje na chodca, ktorý sa pohybuje šikmo v smere alebo protismere pohybu vozidla, ale len do uhla pohybu chodca  $\pm 45^\circ$  od roviny kolmej k rovine pohybu vozidla.
- Systém nereaguje na dopravnú situáciu pohybu vozidla v ľavotočivej zákrute a pohybu chodca do vozovky zľava.
- Systém nereaguje na dopravnú situáciu pohybu vozidla v pravotočivej zákrute a pohybu chodca do vozovky sprava.
- Pri rozpoznaní chodca systém dokáže úplne zastaviť vozilo, ak sa toto pohybuje rýchlosťou do 30 km/h a pohyb chodca je plynulý a predvídateľný.
- Pri rozpoznaní chodca systém dokáže znížiť rýchlosť jazdy vozidla, ak sa toto pohybuje rýchlosťou nad 30 km/h a pohyb chodca je plynulý a predvídateľný.
- Zníženie rýchlosti pohybu vozidla pri rozpoznaní chodca je maximálne o cca 30 km/h.
- Ak vodič zasiahne do riadenia vozidla v priebehu jeho autonómneho zásahu, systém deaktivuje autonómne brzdenie.
- Systém nevaruje chodca pred blížiacou sa kolíznou situáciou.
- Z riadiacej jednotky vozidla nie je možné po zásahu systému do riadenia vyčítať záznamové dáta o kritickej situácii.

**Vozidlo Volvo nedokáže vykonať autonómny vyhýbací manéver a tak je na samotnom vodičovi, aby po včasnej reakcii následne vykonal vyhýbací manéver.** V niektorých prípadových štúdiách postačovalo priečne premiestnenie vozidla len o cca 1m a nebolo by došlo k zrážke s chodcom. Je otázkou ďalších skúmaní aký časový interval potrebuje nesústreďený vodič na to, aby reagoval na alarm vo vozidle, rozpoznal kolíznú situáciu a následne technicky správne reagoval vyhýbacím manévrom a brzdením.

Z teoretickej úvahy, že vodič by reagoval na alarm systému vozidla a následne by vykonal vyhýbací manéver môžeme vyhodnotiť v koľkých prípadových štúdiách by mohlo dôjsť k zmene priebehu nehodového deja. Teoretická doba reakcie vodiča na alarm vozidla by mohla byť cca 1s (nesústreďený vodič by musel na základe alarmu rozpoznať prekážku pred vozidlom) a následne by vodič po reakcii vykonal prudké vyhýbanie, ktoré by postačovalo len na časové minútie chodca. Na základe technickej literatúry je možné uvažovať, že samotná zmena smeru jazdy by trvala cca 0,5 s. Ak by sa jednalo len o priečne premiestnenie smerom doprava alebo doľava o cca 1 m, došlo by v prípadových štúdiách č. 2,4,5,7,10 a 11 k zabráneniu dopravnej nehode. Vodič vozidla by minul chodca bez dodržania bezpečného pozdĺžneho odstupu.

Z analýzy reálnych dopravných nehôd vyplynulo, že v prípadových štúdiách, kde zasahoval pri experimentálnom meraní aktívny bezpečnostný systém, nedošlo pri reálnych dopravných nehodách k brzdaniu vozidla pred zrážkou zo strany vodiča.

Z experimentálnych meraní vyplynulo, že v piatich prípadových štúdiách vozidlo Volvo začalo brzdiť pred zrážkou viac ako 1s. **Z meraní teda vyplynulo, že samotné vozidlo síce akusticky varuje vodiča pred kolíznou situáciou, ale toto znamenie nie je možné registrovať z vonku vozidla. Pri samotnej aktivácii alarmu by bolo z pohľadu súdnoznaleckého skúmania a znižovania následkov dopravnej nehody opodstatnené, aby predmetný alarm upozorňoval aj samotného chodca na vznikajúcu kolíznú situáciu. Varovanie chodca by mohlo prebiehať dvoma spôsobmi a to, akusticky alebo vizuálnym signálom. Tento signál by mal byť vo väčšine prípadov úzko orientovaný len na predmetného chodca. Týmto systémom by nedošlo k narušovaniu bezpečnosti a plynulosti premávky planým varovaním iných účastníkov cestnej premávky.** Z toho by následne vyplývala možnosť zabrániť dopravnej nehode zo strany chodca. Chodec nepotrebuje na samotné zastavenie toľko času ako vozidlo. S existujúcim systémom nemá chodec možnosť rozpoznať na vozidle Volvo žiadne akustické alebo svetelné varovné signály.

## 14. Literatúra

- [1] ZEBALA, J., CIEPKA, P., REZA. A., Pedestrian speeds and acceleration – results of research on contemporary population, Institute of Forensic Research Kraków/Poland, EVU 2012
- [2] International Harmonized Research Activities Pedestrian Safety Working Group, 2001 REPORT December 2001
- [3] DaCoTA, Traffic Safety Basic Facts – Pedestrians, 2010
- [4] YANG, J., Review of injury biomechanics in car-pedestrian collisions Crash Safety Division, Chalmers University of Technology, SE-412 96
- [5] CYUPERS, R., Vehicle Safety and new car assessment programmes, SSRCI 2012
- [6] Euro NCAP, Moving forward, 2010-2015 Strategic roadmap, 15 July 2010
- [7] Safety Companion 2012
- [8] KINSKY, T., The flexible pedestrian legform impactor and its impact on vehicle design, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 2011
- [9] Atsuhiko Konosu, "Evaluation Tests for Pedestrian Legform Impactors, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 2005
- [10] [www.unece.org/trans/main/wp29/meeting\\_docs\\_grsp.html](http://www.unece.org/trans/main/wp29/meeting_docs_grsp.html) (11.01.2013)
- [11] European new car assessment programme (Euro NCAP) pedestrian testing protocol - Version 6.1
- [12] Euro NCAP Pedestrian Testing Protocol - Version 4.3 and 5.2
- [13] Crash analysis criteria description, version 1.6.1. 2004
- [14] The Abbreviated Injury Scale, Association for the Advancement of Automotive Medicine, Des Plaines, IL, United States – 1990 revision
- [15] Final Regulatory Evaluation, Actions to Reduce Adverse Effects of Air Bags, FMVSS 208, DEPOWERING, February 1997,
- [16] HAMACHER, M., Vehicle Related Influence of Post-Car Impact Pedestrian Kinematics on Secondary Impact IRCOBI 2012
- [17] PRITZ, H.B. ,Experimental investigation of pedestrian head impacts on hoods and fenders of production vehicles. Proceedings of the Pedestrian Impact Injury & Assessment, SAE Int. Congress& Exposition. P-121. Detroit Michigan, February 28-March 4, Society of Automotive Engineers. Warrendale. USA., pp.67-76.
- [18] CAVALLERO, C., CESARI, D., RAMET, M., BILLAUT, P., FARISSC, J., SERIAT, B., BONNOIT, J., Improvement of pedestrian safety: influence of shape of passenger car-front structures upon pedestrian kinematics and injuries: evaluation based on 50 cadaver tests'. Proceedings of the Pedestrian Impact Injury & Assessment. SAE Int. Congress & Exposition. P-121, Detroit Michigan, February 28-March 4. SAE. Warrendale, PA. USA. pp.225-237.
- [19] YONG, P., Adult and child pedestrian head impact condition as a function of vehicle front end geometry, IRCOBI Conference 2011
- [20] APROSYS Project AP-SP90-0003
- [21] SUBIT, D., Pedestrian - vehicle interaction: Kinematics and injury analysis of four full-scale tests, IRCOBI 2008
- [22] DETTINGER, J., Beitrag zur Verfeinerung der Rekonstruktion von Fußgängerunfällen, Dekra, 12/1996
- [23] CHRISTIAN, F., Driver assistance systems for active safety in Mercedes-Benz passenger cars-system characteristic in the area of conflict between driver acceptance and system benefits, F2008-08-047
- [24] MERZ, U., PRE-SENSE Bindeglied zwischen Umfeldsensorik und akutem Insassenschutz VDI-Berichte Nr. 2013, 2007
- [25] <http://catalog.osram-os.com> (15.02.2013)
- [26] WINNER, H., HAKULI, S., WOLF, G., Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Vieweg+Teubner, 2009. 712s. ISBN 978-3-8348-0287-3
- [27] LINDMAN, M., Benefit Estimation Model for Pedestrian Auto Brake Functionality, ESAR 2010
- [28] LAWRENCE , N.D., Probabilistic non-linear principal component analysis with Gaussian process latent variable models. Journal of Machine Learning Research, 6: 1783–1816, MIT Press, Cambridge, MA, USA, 2005
- [29] SAITO, T., Next generation driving assist system using new stereo camera, Fuji Heavy Industries Ltd., Japan FESITA 2008
- [30] FRANKE, U., Dynamic stereo vision for intersection assistance F2008--08—041
- [31] BRADÁČ, Albert a kol. Soudní inženýrství. Brno : CERM Akademické nakladatelství, s.r.o.. 1999. 725 s. ISBN 80-7204-133-9
- [32] LUKE, S., From brake assistance to autonomous collision avoidance, FESISTA 2008
- [33] ROSEN, E., Pedestrian Injury Mitigation by Autonomous Braking, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles 2011
- [34] BERG, A., Presentation and discussion of a crash test using a car with automatic pre-crash braking, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles 2011
- [35] HAMACHER, M., Assessment of active and passive technical measurement for pedestrian protection at the vehicle, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles 2011

- [36] <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12239-010-0099-9#page-2> (09.02.2013)
- [37] SCHREURS, A., Pedestrian dummy models used in the development of active safety systems ACTS GmbH & Co. KG Kurfürst Eppstein Ring D-63877
- [38] HAUPT, B., Pedestrian protection systems PPS pSAT innovative sensing principle base on satellites, AACHENER 2010
- [39] INOMATA, Y., Development of the pop-up engine hood for pedestrian head, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles 2009
- [40] BORG, E., Innovative bonnet active actuator for pedestrian protection, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles 2011
- [41] CLEPA European Association of Automotive suppliers - INF GR / PS /67 08.01.2004 – Pedestrian Protection Test method - Active hood/bonnet systems.
- [42] YANG, J., Review of injury biomechanics in car-pedestrian collisions, crash safety division , chalmers Univrsity of technology , gotheburg, Sweden Vehicle safety 2005
- [43] YANG, J.K., Injury biomechanics in car-pedestrian collision: developement, validation and application of human body mathematical models. Doctoral dissertation , department of Injury prevention , chalmers university of technology, Sweden, 1997
- [44] Final Regulatory Evaluation, Actions to Reduce Adverse Effects of Air Bags, FMVSS 208, DEPOWERING, February 1997, Office of Regulatory Analysis, Plans and Policy, NHTSA/DOT
- [45] STRANDROTH, J. The correlation between pedestrian injury severity in real-life chrashes and EURO NCAP test results, International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 2011
- [46] MATSUI, Y., Effects of Vehicle Bumper Height and Impact Velocity on Type of Lower Extremity Injury in Vehicle Pedestrian Accidents, Tsukuba, Japan, 2005
- [47] <http://www.euroncap.com/files/Lower-Leg-Form2---0-57137b72-d55a-46ad-82fb-df16b2af2531.jpg> (10.07.2014)
- [48] Proposal for methods to evaluate pedestrian protection for passenger cars; report of European Experimental Vehicles Committee (EEVC) Working Group 10, November 1994; available at the EEVC website [www.eevc.org](http://www.eevc.org) (13.02.2011)
- [49] Information on the Flexible Pedestrian Legform Impactor (Flex-PLI) from J-MLIT Research; presentation of representative of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Government of Japan (J-MLIT) at the 7th meeting of the GRSP informal group on pedestrian safety (INF GR PS); Paris, 28 – 30 September 2004; available as document PS/106 at the UNECE GRSP website [www.unece.org/trans/main/wp29/meeting\\_docs\\_grsp.html](http://www.unece.org/trans/main/wp29/meeting_docs_grsp.html) (18.02.2011)
- [50] JAMA's Explanation on the Pedestrian Safety GTR Phase 2; presentation at the 148th meeting of the „Technical Committee” International Automobile Manufacturers Organization OICA; Paris, 14 – 15 October 2008 (internal working document)
- [51] BEEN, B., (FTSS Europe): Design Freeze Status, FlexPLI-GTR Development, Mechanical Design; presentation at the 6th meeting of the FlexPLI Technical Evaluation Group (FlexPLI TEG); Bergisch Gladbach, 31 March 2008; available as document TEG-054-Rev.1 at the UNECE GRSP website [www.unece.org/trans/main/wp29/meeting\\_docs\\_grsp.html](http://www.unece.org/trans/main/wp29/meeting_docs_grsp.html) (18.02.2011)
- [52] Knee joint front view; image in article “knee joint definition” at the website [www.emedicinehealth.com](http://www.emedicinehealth.com) (18.02.2011)
- [53] EEVC Working Group 17 Report IMPROVED TEST METHODS TO EVALUATE PEDESTRIAN PROTECTION AFFORDED BY PASSENGER CARS (December 1998 with September 2002 updates)
- [54] REVIEW OF THE EURO NCAP UPPER LEG TEST Nils Lubbe Toyota Motor Europe, Belgium Hiromi Hikichi Hiroyuki Takahashi Toyota Motor Corporation, Japan Johan Davidsson Chalmers University of Technology, Sweden Paper Number 11-0137
- [55] BOVENKERK, J., Moglichkeiten zum realitätsnahen fuszgangerschutz unter verwendun des polar II fuszganger dummies
- [56] GENNATELLI, T., WODZIN E., The Abbreviated Injury Scale 2005. Update 2008. American Association for Automotive Medicine (AAAM), Des Plaines, IL 2008.
- [57] SUBIT, D., Pedestrian-vehicle interaction: Kinematic and injury analysis of four full-scale tests, Proceedings of the 2008 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact
- [58] WITTENBURG, J., Dynamics of Systems of Rigid Bodies", B.G. Teubner Stuttgart 1977.
- [59] KAMMAN, J., HUSTON, R., Multibody Dynamics, Butterworth-Heinemann, 2001, ISSN 1384-5640
- [60] Galéria autora Ing. Peter Vertal' , Ústav Soudního Inženýrství VUT Brno
- [61] PC Crash manuál 10.0
- [62] KOHÚT, P. Technicko-právna problematika analýzy dopravných nehôd, ŽU v Žiline, 2011, ISBN 978-80-554-0345-8
- [63] MOSER, A., STEFFAN, G., KASANICKY, G., The Pedestrian Model in PC-Crash – The Introduction of a Multi Body System and its Validation, International Congress and Exposition Detroit, Michigan March 1-4, 1999